

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

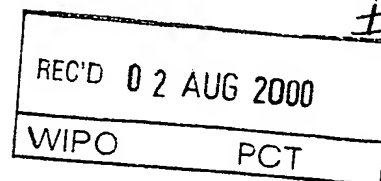
THIS PAGE BLANK (USPTO)

FR 20/45



PC

10/019401
R 00 / 01803



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

DOCUMENT DE PRIORITÉ
PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 13 III 2000

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS Cédex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04
Télécopie : 01 42 93 55 30

THIS PAGE BLANK (USPTO)

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réserve à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES **28 JUIN 1999**
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL **9908223**
DÉPARTEMENT DE DÉPÔT **75 INPI PARIS**
DATE DE DÉPÔT **28 JUIN 1999**

1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

CABINET REGIMBEAU
26, Avenue Kléber
75116 PARIS

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

☒ brevet d'invention

☐ demande divisionnaire

n° du pouvoir permanent

références du correspondant

téléphone

☐ certificat d'utilité

☐ transformation d'une demande
de brevet européen

☐ demande initiale

237795 D18164 JRC

01 45 00 92

☐ brevet d'invention

☐ certificat d'utilité n°

date

Établissement du rapport de recherche

☐ différé

☒ immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance

☐ oui

☐ non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

Système comportant un satellite à antenne radiofréquence

3 DEMANDEUR (S) n° SIREN

code APE-NAF

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES

Forme juridique

Nationalité (s) **Française**

Adresse (s) complète (s)

2, place Maurice Quentin 75001 PARIS

Pays

FR

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs

☐ oui

☒ non

Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES

☐ requise pour la 1ère fois

☐ requise antérieurement au dépôt ; joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

7 DIVISIONS

antérieures à la présente demande n°

date

n°

date

8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE

(nom et qualité du signataire)

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION

SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L

M. Clément / 72 1227

[Signature]

DÉPARTEMENT DES BREVETS

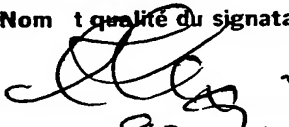
26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1 / 1
(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260699

Vos références pour ce dossier (facultatif) 237795 D18164 JRC			
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		99 08223	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
Système comportant un satellite à antenne radiofréquence			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES : 2, place Maurice Quentin 75001 PARIS - FRANCE			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		AGUTTES Jean-Paul	
Prénoms			
Adresse	Rue	11, rue Paul Bely 31100 TOULOUSE FRANCE	
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)			
 92-7234			

La présente invention est relative à un système comportant un satellite à antenne radiofréquence.

DOMAINE GENERAL ET ETAT DE LA TECHNIQUE

5

L'invention concerne de façon générale toutes les applications satellites nécessitant de grandes antennes radiofréquences (télécommunications, radionavigation, écoute, observations RF active ou passive, etc.), quelque soit l'orbite (basse ou géostationnaire) utilisée.

10 Il a déjà été proposé une structure de satellite dans laquelle l'antenne radio-fréquence est utilisée pour se comporter comme une lentille radioélectrique par rapport à un cornet d'émission ou de réception radio-fréquence qui est également porté par le satellite et qui est situé au nadir de ladite antenne et à une certaine distance de celle-ci.

15 A la réception comme à l'émission, le rôle de l'antenne y est de focaliser les signaux RF qu'elle reçoit, sur le cornet ou vers la terre.

Une telle structure de satellite permet une forte tolérance aux déformations de l'antenne, pourvu toutefois que le faisceau d'antenne reste dans une direction proche de celle de l'illumination d'émission ou de
20 réception du cornet ou bien que l'éloignement de la source soit grand par rapport aux dimensions de l'antenne.

On comprend qu'une telle structure de satellite est d'un intérêt très limité pour de très grandes antennes car il faut alors placer le cornet au bout d'un très grand mât.

25

PRESENTATION DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de proposer un système à satellite à antenne radio-fréquence qui ne soit pas limité par la taille des antennes et
30 qui permette une forte tolérance aux déformations.

La solution selon l'invention est un système comportant une antenne radio-fréquence placée sur une orbite autour de la terre, ainsi que des moyens illuminateurs d'émission et/ou de réception également en orbite

autour de la terre, l'antenne se trouvant dans le champ d'illumination desdits moyens, l'antenne et les moyens illuminateurs étant sensiblement sur la même orbite et l'antenne étant apte à dévier les signaux radio-fréquence correspondant à un ou plusieurs canaux émis par les moyens illuminateurs
5 pour les renvoyer vers la terre selon un ou plusieurs faisceaux et/ou à dévier les signaux radio-fréquence correspondant à un ou plusieurs faisceaux émis de la terre pour les renvoyer vers les moyens illuminateurs selon un ou plusieurs canaux.

L'invention concerne également système dont les moyens
10 illuminateurs sont portés par au moins un satellite distinct du satellite qui porte l'antenne et sensiblement sur la même orbite.

L'antenne fonctionne comme un prisme qui dévie les signaux pour assurer un rayonnement plutôt vertical (vers la terre) à partir d'une illumination horizontale.

15 L'invention est avantageusement complétée par les différentes caractéristiques suivantes, prises seules ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles :

- l'antenne radiofréquence est sensiblement plane, les signaux transitant d'une face à l'autre de ladite antenne et pour au moins un canal et un sens
20 de trajet, il correspond, à une direction d'illumination selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne, un cône de visées dites d'autocompensation vers et depuis la terre définies par une incidence commune sur le plan de l'antenne, dite incidence d'autocompensation (l'incidence d'une direction étant l'angle que
25 fait cette direction avec la normale au plan de l'antenne), les visées d'autocompensation étant telles que les déformées de l'antenne transversalement au plan général de l'antenne et les erreurs d'attitude de l'antenne autour de tout axe contenu dans ledit plan sont sensiblement sans effet sur ces mêmes signaux déviés vers ou depuis cette visée d'auto-
30 compensation et d'effet réduit dans les directions de visée voisines ;
- l'antenne est formée d'un maillage de pavés et en ce que chaque pavé comporte au moins une portion centrale, unique pour un canal donné et un sens de trajet, reliée par des moyens de regroupement et/ou éclatement

d'une part en amont sur le trajet à au moins un point de réception des signaux et d'autre part en aval à au moins un point d'émission des signaux et des moyens pour appliquer les déphasages et ou retard entre les points d'émission et de réception afin d'assurer la déviation sont appliqués sur la
 5 portion centrale pour ce qui concerne le retard et le déphasage commun et sur les branches pour ce qui concerne le retard et ou déphasage différentiel ;

- il comporte des moyens permettant de faire varier les déphasages et/ou retards appliqués sur les différents trajets ;
- 10 - au moins une partie des moyens de liaison entre le ou les points de réception et le ou les points d'émission est commune à différents canaux et des moyens permettant de discriminer ces différents canaux sont disposés au niveau d'au moins une jonction entre une portion de trajet commun et des portions de trajets spécifiques ;
- 15 - l'antenne comporte des moyens pour translater la fréquence des signaux lors de leur déviation, pour au moins un canal et un trajet ;
 - pour au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent la même fréquence avant et après l'antenne ;
 - pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des
- 20 moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, l'incidence d'autocompensation est égale à l'incidence de la direction d'illumination ;
 - pour au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence distincte avant et après l'antenne et la fréquence de translation
- 25 utilisée n'est pas issue de signaux reçus sur une des faces du pavé ;
 - pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, le cosinus de l'incidence de la visée d'autocompensation et le cosinus de l'incidence de la direction d'illumination
- 30 sont sensiblement dans le rapport des fréquences centrales du canal côté illumination et côté terre ;

- selon au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence distincte avant et après l'antenne et la fréquence de translation est issue d'un signal de translation dit externe reçu par une face du pavé ;
- selon au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence distincte avant et après l'antenne et la translation de fréquence résulte ou est équivalente à deux translations consécutives, dont une qui est dite externe et dont la fréquence de translation, appelée F_e , est issue d'un signal de translation externe reçu par une face du pavé et dont l'autre qui est dite interne et qui est de fréquence de translation F_i , est sans référence à un signal reçu par l'une ou l'autre des faces du pavé ;
- les moyens illuminateurs comportent une pluralité de sous-ensembles illuminateurs et différents signaux d'un même canal émis vers la pluralité des sous-ensembles illuminateurs ou issus de celle-ci se répartissent entre la terre et l'antenne selon une pluralité de faisceaux d'émission et/ou de réception dont la géométrie angulaire vue de l'antenne correspond sensiblement à la géométrie angulaire relative selon laquelle sont vus depuis l'antenne les différents sous-ensembles illuminant ce canal, cette géométrie étant le cas échéant modifiée par une anisotropie ;
- les moyens illuminateurs comportent une pluralité de sous-ensembles illuminateurs et , pour un canal donné pour lequel l'antenne met en œuvre une translation de fréquence, les différents signaux émis vers la pluralité des sous-ensembles illuminateurs ou issus de celle-ci se répartissent selon une pluralité de faisceaux d'émission et/ou de réception vers la terre dont la géométrie angulaire vue de l'antenne correspond sensiblement à la géométrie angulaire relative selon laquelle sont vus depuis l'antenne les différents sous-ensembles illuminant ce canal, après multiplication de tous les écarts angulaires par le rapport des fréquences centrales du canal côté illuminateur et côté terre, cette géométrie étant le cas échéant modifiée par une anisotropie ;
- le signal de translation externe utilisé selon au moins un canal est émis par les moyens illuminateurs et reçu par la face de l'antenne qui est du côté de l'illumination, et dans le cas où les moyens illuminateurs sont répartis en

sous-ensembles illuminateurs, émis par un sous-ensemble appelé foyer, éventuellement limité à cette fonction ;

- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs émettent des signaux vers l'antenne tout en émettant le signal de translation externe, le cosinus de l'incidence d'autocompensation et le cosinus de l'incidence de la direction d'illumination sont sensiblement dans le rapport $(f + F - F_e) / f$ où f est la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe, et F est la totalité de la translation de fréquence, et dans le cas où les moyens d'illumination sont répartis en sous-ensembles, l'écart d'incidence entre l'illumination considérée et le foyer est sensiblement reproduit dans l'écart entre les incidences d'autocompensation de l'illumination et celles qui correspondraient au foyer, moyennant les termes multiplicatifs $(f + F / f)$ et $(\sin(\phi_2) / \sin(\phi_1))$ où ϕ_1 est l'angle d'incidence d'illumination du foyer et ϕ_2 l'angle d'incidence d'autocompensation qui en résulterait si le foyer émettait ;
- F_e et F sont de même signe, c'est à dire portent sur des changements de fréquence de même sens ;
- un signal de translation externe utilisé selon au moins un canal à la réception est reçu par la face du pavé selon laquelle se fait la réception et est émis d'un point sol appelé foyer sol ;
- un signal de translation externe utilisé selon au moins un canal à la réception est reçu par la face du pavé selon laquelle se fait la réception et est émis par au moins un satellite sensiblement sur la même orbite que l'antenne et les moyens illuminateurs, ce satellite étant disposé par rapport à l'antenne du côté opposé aux moyens illuminateurs, les moyens d'émission du signal étant appelés foyer opposé ;
- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, l'angle de l'incidence d'autocompensation est sensiblement égal à $\phi_2 + (\cos(\phi_2) (f + F_e) - \cos(\phi_1) (F + f)) / \sin(\phi_2) f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et celui du signal de translation externe, f la fréquence côté

- terre, F_e est la valeur de la translation externe, et F est la totalité de la translation de fréquence ;
- F_e et F sont de même signe, c'est à dire portent sur des changements de fréquence de même sens ;
- 5 - pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, la fréquence F_e est égale à la fréquence F pour les deux trajets et au moins un foyer sol est au voisinage d'une visée d'autocompensation d'émission correspondant à ces moyens illuminateurs ;
- pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, l'attitude de
- 10 l'antenne, ainsi que les fréquences F_i et F_e à la fois à l'émission et à la réception, sont telles que les visées d'autocompensation sont identiques sur les deux trajets en dépit du non-alignement du foyer opposé avec les moyens illuminateurs utilisés en réception, ou en dépit de l'éloignement entre le foyer sol et le centre de la zone à couvrir ;
- 15 - pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, la translation de fréquence F_e se fait à partir du signal externe reçu par la face d'illumination et l'incidence d'autocompensation est telle que $\cos(\phi_2)/\cos(\phi_1) = (f + F_e + F)/f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et l'angle de
- 20 l'incidence d'autocompensation, f étant la fréquence côté terre, F_e la valeur de la translation externe, F la totalité de la translation de fréquence ;
- F_e et F sont de signes contraires, c'est à dire que la translation externe F_e est de sens opposé à la translation totale F ;
 - pour au moins un canal utilisé à la réception $|F_e| = |F|$ et $F_i = 2|F|$;
- 25 - pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, $|F_e| = |F|$ et $F_i = 2|F|$ pour la réception et $F_e = F$ pour l'émission et les visées d'autocompensation sont sensiblement identiques sur les deux trajets ;
- pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, la translation F_e se fait à partir
- 30 du signal externe reçu par la face d'illumination et est de même sens que la translation totale F , $F = F_e$ et en ce que l'incidence d'autocompensation est donnée par $\phi_2 - \phi_1 = -2 \operatorname{Ctg}(\phi_1) F/f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la

direction d'illumination et l'angle de l'incidence d'autocompensation f étant la fréquence côté terre, F_e la valeur de la translation, F la totalité de la translation de fréquence ;

- l'attitude de l'antenne est telle que l'écart angulaire entre l'ensemble des visées possibles et les visées d'auto-compensation soit globalement minimisé ;
-
- l'attitude et la ou les fréquences de translation F_e ou F_i sont telles que l'écart angulaire entre l'ensemble des visées possibles et les visées d'auto-compensation soit globalement minimisé ;
- 10 - l'attitude et la ou les fréquences de translation F_e ou F_i sont telles que les résidus d'autocompensation soient répartis sur les deux trajets ;
 - l'antenne comporte des moyens pour mettre en œuvre des translations de fréquences différentes sur les signaux radio-fréquence émis ou reçus selon des canaux distincts ;
- 15 - les moyens de déphasage et/ou retard sont commandés de façon à maintenir inchangé l'orientation dans le repère lié à l'antenne d'un faisceau correspondant à un canal en dépit des modifications de l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'illumination utilisée par le faisceau ;
 - les moyens de déphasage et/ou retard sont commandés de façon à
- 20 maintenir inchangée l'orientation dans le repère lié à l'antenne d'une direction de faisceau éventuellement virtuel correspondant à une direction d'illumination éventuellement virtuelle repérée par rapport aux directions d'illumination d'un canal ;
 - la direction du faisceau, éventuellement virtuel, sur lequel porte la
- 25 compensation est choisie de manière à minimiser l'écart angulaire maximal entre ce faisceau et le faisceau ou l'ensemble des faisceaux du canal et le pas, compté à la longueur d'onde de la fréquence centrale du canal côté terre, entre les points centraux utilisés par le canal est établi en fonction de cet écart angulaire maximal et du niveau tolérable des lobes de sous-
- 30 réseaux accompagnant le ou les faisceaux du canal ;
 - il comporte des moyens pour commander les moyens de déphasage et/ou de retard de façon à maintenir inchangée la direction dans le repère terrestre d'au moins un faisceau d'au moins un canal en dépit des

modifications d'attitude de l'antenne et des modifications qui en résultent concernant l'orientation dans le repère lié à l'antenne des directions d'illuminations ;

- le satellite qui porte l'antenne et au moins un satellite portant des moyens d'illumination comportent des moyens pour déterminer l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'illumination ;
- le satellite qui porte l'antenne et au moins un satellite portant des moyens d'illumination comportent des moyens pour déterminer l'orientation dans le repère terrestre de l'axe les joignant ;
- l'orientation de la direction d'illumination dans le repère lié à l'antenne est déterminé à partir de la connaissance de l'attitude de l'antenne et de l'orientation dans le repère terrestre de l'axe les joignant ;
- l'antenne comporte des moyens pour comparer les phases et/ou retards d'au moins un signal émis par les moyens illuminateurs et reçu en différents points de l'antenne et des moyens pour déterminer en fonction de cette comparaison l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'arrivée du ou des signaux ;
- l'attitude en lacet et/ou tangage de l'antenne est déterminée à partir de la connaissance de l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'arrivée du ou des signaux et de l'orientation dans le repère terrestre de cette direction d'arrivée ;
- un satellite qui porte des moyens illuminateurs comporte des moyens pour se localiser ou des moyens de réception de signaux de radiolocalisation, ainsi que des moyens pour transmettre les informations de localisation ou les signaux de radiolocalisation qu'elle reçoit au satellite qui porte l'antenne, ce dernier comportant des moyens pour déterminer en fonction notamment de ces informations l'orientation dans le repère terrestre de l'axe joignant les deux satellites ;
- la direction d'illumination virtuelle repérée est celle d'un sous-ensemble illuminateur qui émet le signal de mesure, et la mesure donne directement l'information nécessaire à la compensation ;
- des sous-ensembles illuminateurs sont sur un même satellite ;

- des sous-ensembles illuminateurs sont décalés les uns par rapport aux autres sur une orbite commune ;
 - des orbites de sous-ensembles illuminateurs présentent des écarts d'ellipticité et/ou de plan d'orbite ;
- 5 - sur un retard de portion centrale transite ensemble au moins un canal et la raie de translation, ou une référence qui permet de la créer, utilisée pour
-
- baisser la fréquence du ou des canaux en aval du retard, de façon à limiter les impacts des imperfections du retard sur la phase du signal dévié ;
- une translation descendante est réalisée sur un canal ou plusieurs canaux
- 10 en amont du retard de portion centrale ;
- une telle translation descendante est suivie d'une translation montante après le retard utilisant une référence n'ayant pas subie ce retard, de façon à limiter les impacts des imperfections du retard sur la phase du signal dévié ;
- 15 - le retard sur la portion centrale est commun à au moins deux canaux sur au moins un sens de trajet ;
- la translation de fréquence est réalisée, sur au moins un canal et un trajet, dans la portion centrale ;
 - dans une application à la transmission de télécommunications, il comporte
- 20 une pluralité de canaux, ainsi qu'une pluralité de sous-ensembles illuminateurs, la mosaïque des faisceaux au sol étant constituée par le motif fin généré par l'antenne du fait de la géométrie angulaire selon laquelle les sous-ensembles illuminateurs sont vus par celle-ci, répété selon un motif large qui est généré par l'antenne du fait des différents canaux ;
- 25 - les sous-ensembles illuminateurs illuminant un même canal sont vus de l'antenne suivant une géométrie angulaire relative stable à l'exception d'une rotation sur elle-même à la période orbitale et la pluralité de directions assurée par le motif large du canal précessionne grâce aux moyens de déphasage et/ou retard autour d'une direction centrale et ce en phase avec
- 30 la rotation du motif fin de façon à ce que la mosaïque d'ensemble des faisceaux garde une structure stable, mise à part une rotation sur elle-même à l'échelle orbitale ;

- l'orbite des satellites est une orbite basse et l'antenne s'étend sensiblement dans un plan qui passe par le centre de la terre, en ce qu'un décalage du plan par rapport au plan d'orbite permet l'illumination sur une face, en ce que sur l'autre face au moins un des faisceaux est dépointé
5 pour voir la terre. ;
- les déphasages et les retards sont tels que le décalage des sous-ensembles illuminateurs se traduit par des faisceaux à empreintes au sol décalées transversalement par rapport à la trace ;
- au moins deux satellites antenne utilisent des moyens illuminateurs
10 communs ;
- au moins deux satellites antennes sont situés d'un même côté, le long de l'orbite, des moyens illuminateurs, et sont décalés sur la même orbite ou sont décalés en ellipticité et/ou plan d'orbite ;
- au moins deux satellites antennes sont de part et d'autre des moyens
15 illuminateurs.
- un satellite antenne porte des moyens illuminateurs destinés à un autre satellite antenne ;
- un satellite prisme porte des moyens illuminateurs destinés à un autre satellite prisme et est illuminé par des moyens illuminateurs portés par un
20 satellite prisme ;
- l'axe normal à l'antenne est sensiblement dans le plan de l'orbite, le tangage étant tel que le cône de visée d'auto-compensation rencontre la terre selon une ligne d'auto-compensation s'étirant globalement transversalement à l'orbite et le déplacement au sol, sensiblement le long
25 de la projection de l'orbite, de la ligne d'auto-compensation est réalisé par le déplacement du satellite et/ou par le changement du tangage de l'axe d'antenne et/ou le changement de la fréquence de translation dans le cas où celle-ci est assurée au moins par un signal interne, ces trois moyens pouvant être utilisés séparément ou en combinaison ;
- les visées sol sont réparties en fauchée le long de la ligne d'auto-compensation de sorte que les contraintes de déformation de l'antenne sont très relâchées et une corrélation entre les deux voies d'arrivée des signaux réalise une discrimination de visée des sources de ces signaux fonction de
30

- l'angle que la direction d'arrivée des signaux fait avec l'axe antenne/moyens illuminateurs ;
- des moyens illuminateurs reçoivent directement de la terre des signaux également reçus via l'antenne et une corrélation entre les deux signaux
 - 5 réalise une discrimination de visée fonction de l'angle que la direction d'arrivée des signaux fait avec l'axe antenne/moyens illuminateurs ;
 - le déplacement au sol, sensiblement le long de la projection de l'orbite, de la zone de visée discriminée par la corrélation est réalisée par le déplacement du satellite et/ou par le changement de l'angle de
 - 10 discrimination ;
 - l'antenne présente dans une direction une dimension plus importante que dans les autres directions, ce qui assure pour au moins un faisceau l'étroitesse de l'empreinte au sol dans une direction transversale à l'orbite ;
 - une imagerie du sol selon deux composantes croisées est obtenue en
 - 15 combinant la corrélation et un balayage du faisceau ;
 - il comporte des moyens pour réaliser les visées au sol à partir d'un balayage électronique d'un faisceau selon une commande mono-dimensionnelle et la grande dimension de l'empreinte du faisceau, qui résulte de la petite dimension de l'antenne, est le long de l'orbite et permet
 - 20 de recouvrir la ligne d'auto-compensation pour toutes position du faisceau, en dépit de la courbure de cette ligne et du caractère mono-dimensionnel de la commande de balayage ;
 - l'antenne est allongée le long de l'axe tangage ;
 - l'antenne est allongée le long de l'axe lacet.

25

PRESENTATION DES FIGURES

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront encore de la description qui suit. Cette description est purement illustrative

30 et non limitative. Elle doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique d'un système conforme à un mode de réalisation possible pour l'invention ;

- la figure 2 est une représentation synoptique des différentes fonction réalisées par les différents pavés de l'antenne ;

- la figure 3 est une représentation synoptique illustrant le traitement de translation de fréquence mis en œuvre dans l'antenne ;

5 - la figure 4 est une représentation schématique d'une mosaïque de faisceaux qui peut être obtenue avec un système conforme à un mode de réalisation possible de l'invention ;

- la figure 5 représente schématiquement une géométrie de prise d'image dans le cas d'une application à l'imagerie micro-ondes.

10

15 DESCRIPTION DETAILLEE D'UN OU PLUSIEURS MODES DE REALISATION DE L'INVENTION

1. DESCRIPTION GENERALE

1.1 Introduction

20

On a représenté sur la figure 1 un système comportant un premier satellite, référencé par 1 et appelé par la suite satellite prisme, ainsi qu'un deuxième satellite, référencé par 2 et appelé par la suite satellite illuminateur.

25

Le satellite prisme 1 porte une antenne RF, tandis que toutes les fonctions centrales de charge utile sont déportées dans le satellite 2, l'interface bord-sol de l'ensemble pouvant être assurée au travers du satellite 2.

30

Celui-ci est sur la même orbite que le satellite 1 et en est typiquement décalé de 100 km. A la réception comme à l'émission, l'antenne du satellite 1 dévie le signal d'illumination, l'amplifie, et le focalise dans les directions commandées par la mission.

L'illuminité aux déformations est atteinte quand l'axe moyen de visée mission et celui de l'illumination sont tous deux sur un cône orthogonal au plan du prisme, un cas particulier étant la coplanarité des deux axes.

- 5 Elle est constituée par une antenne active qui en fonctionnement à l'émission ou à la réception reçoit sur une de ses faces les signaux RF et les rayonne (vers la terre ou vers le satellite-2) par son autre face.
-

Ainsi, cette antenne ne comporte pas de câble à travers lesquels les signaux RF seraient transmis depuis (ou vers) une plate-forme.

- 10 Ceci permet d'accroître par 10 les tolérances de déformation macroscopique de l'antenne (exemple 10 cm en bande L au lieu de 1cm).

- On l'aura compris, une telle structure favorise le déploiement de très grandes antennes (>20 ou 50 m) en simplifiant ou supprimant les mécanismes (plus besoins de forts couples pour déplier les câbles et de
15 contrôle précis de butée) et les raidisseurs. L'antenne peut présenter une très faible rigidité ou même des mouvements rapides car la tolérance aux déformées est intrinsèque et sans contrôle actif (même électronique).

- La multiplication des directions d'illumination à partir de plusieurs sous-ensembles illuminateurs d'un même satellite ou de satellites distincts
20 permet de manière transparente à l'antenne de multiplier la configuration de faisceaux que celle-ci engendre vers le sol.

- Dans une variante où la même face assurerait la liaison vers les illuminateurs et vers le sol, l'avantage d'auto-compensation des déformées disparaît mais reste l'avantage de la disparition des câbles et de la
25 multiplication transparente des faisceaux en présence de plusieurs sous-ensembles illuminateurs.

Par la suite, on ne décrit que la configuration avec les signaux transitant entre les faces.

30 1.2 Géométrie

Sur la figure 1, on a représenté le vecteur P qui est un vecteur normal au plan de l'antenne et qui correspond au pointage physique que celle-ci réalise.

On a également représenté un repère orthonormé $AXYZ$ où A correspond à un point au centre de l'antenne, AY correspond à la direction
5 de la vitesse des satellites 1 et 2, AZ étant dirigé vers le centre de la terre.

Le vecteur P est défini par un angle α entre AY et sa projection dans le plan AXY , ainsi que par un angle θ qui est l'angle qu'il fait avec cette projection.

10 La direction R de visée de l'antenne est définie quant à elle par les angles α' et θ' .

Sur la figure 1, on a également porté les axes Px , Py et Pz qui correspondent aux axes AX , AY et AZ après rotation d'un angle α autour de AZ , puis rotation d'un angle θ autour de la direction Px ainsi obtenue.

15 On a également porté les axes Rx , Ry et Rz qui correspondent aux axes AX , AY , AZ après rotation d'un angle α autour de AZ , puis rotation d'un angle θ autour de la direction Rx .

1.3 Comportement vis à vis des déformations de l'antenne d'un 20 satellite prisme

Une antenne peut être modélisée par un champ de déformations (de type non-planéité) δp selon P autour d'un plan moyen que l'on suppose dans un premier temps normal à P , les erreurs d'attitude du plan moyen
25 seront analysées ensuite. Les déformations coplanaires (normales à P) sont par nature beaucoup plus faibles et supposées pouvoir être contenues dans les limites souhaitables. Elles ne sont ici prises en considération.

L'auto-compensation est atteinte quand pour tout point de l'antenne, le point correspondant projeté selon R dans un plan d'onde normal à R voit
30 l'onde avec une phase inchangée, c'est à dire que la somme des distances de l'illuminateur à l'antenne selon Y et de l'antenne au plan d'onde selon R reste inchangée, ce qui veut dire encore que les projections de δp selon R

et selon Y doivent être égales, ou encore les deux vecteurs AY et R sont sur un cône orthogonal au plan de l'antenne.

Cette condition se traduit sur le calage physique de l'antenne (θ, α) par l'équation suivante :

$$\begin{aligned} 5 \quad \cos(P.AY) = \cos(\alpha) \cos(\theta) \equiv \cos(P.R) = \cos(\theta) \cos(\theta') \cos(\alpha' - \alpha) \\ + \sin(\theta') \sin(\theta) = \cos(\phi), \text{ avec } \phi = \text{incidence de l'onde sur le prisme} \end{aligned}$$

identique côté illumination (arrière) et côté mission (avant).

L'illuminateur étant situé sur l'axe roulis, la condition d'auto-compensation est insensible à une rotation roulis du prisme et de l'axe mission R.

Si Ay, P et R sont coplanaires, le prisme est dit direct. Il est, ou se ramène après rotation roulis du prisme et de R, dans une configuration avec une seule déviation $\theta' (\alpha' = 0)$. Sinon, le prisme est dit croisé et combine deux déviations θ' et α' , le prisme croisé n'étant pas plus difficile à réaliser que l'autre.

Un prisme direct réalise une déviation 2ϕ , le prisme se situe alors dans le plan bissecteur de Ay et R.

Différents types de satellites de télécommunication ou radar à antennes RF peuvent être utilisés comme satellite prisme.

On notera que dans tout le présente texte, le terme radar inclut l'ensemble de l'observation ou détection radiofréquence, passive ou active.

Dans le cas d'un satellite de télécommunication, on vise généralement autour du nadir (α' quelconque, θ' est de l'ordre de 90°). Il faut alors le couple $(\theta = 45^\circ, \alpha = 0^\circ)$. Le prisme est direct. L'illumination comme le rayonnement mission utilisent l'antenne dans un rapport 0,7 dans la dimension est/ouest (cas géostationnaire), il n'y a pas de perte d'efficacité dans l'autre direction. Pour une mission télécommunication dont la visée s'écarte du Nadir par une combinaison d'écart tangage et roulis, il faut modifier l'attitude du prisme 1 et l'amener à une incidence ϕ par rapport à l'illumination (au lieu de 45° si Nadir) telle que $2\phi = \text{angle entre AY et projection de R sur YAZ}$, puis il faut faire tourner le prisme de l'écart roulis. Cela reste un prisme direct.

Dans le cas d'un satellite radar à antenne latérale, on a typiquement $\alpha' = 90^\circ$ ou -90° , $\theta' = 45^\circ \pm 10^\circ$. Cela est obtenu à partir du cas qui précède par une rotation roulis de 45° . La longueur effective de l'antenne (dimension projetée le long du vecteur vitesse V) est dans le rapport 0,7 d'une des dimensions, la hauteur de l'antenne (dimension normale à P et V) est l'autre dimension de l'antenne. La mission comme l'illumination utilisent l'antenne dans le rapport 0,7.

Dans le cas d'un satellite Radar de type VOILE, c'est à dire dans lequel $\alpha' = \pm 90^\circ$, $\theta = 0$, $\theta' = 45^\circ \pm 10^\circ$, la condition est obtenue avec un angle α de 55° . Le prisme est croisé. Une structure de satellite VOILE a en particulier été décrite dans la demande de brevet FR 96 03434 de la demanderesse. La longueur effective pour la mission est dans le rapport 0.82, la hauteur effective est dans le rapport 0.7. L'efficacité d'utilisation de la surface est de 0,57 à l'avant comme à l'arrière. On remarque qu'en version satellite prisme 1 la géométrie de Voile réduit son handicap d'efficacité de surface par rapport à la géométrie latérale (0.58/0.7 au lieu de 0.7/1). Avec un angle α' de 45° , l'équilibre est obtenu avec un lacet α de 45° ; cela peut être intéressant car l'antenne n'a plus besoin de dépointer en lacet ($\alpha' = \alpha$).

Dans le cas d'un Radar à visée bilatérale, une géométrie proche de celle des télécom permet de faire des observations radar de chaque côté de la trace (α' proche de -90° ou de 90° , $\theta' = 45^\circ \pm 10^\circ$). Il faut ($\theta = 55^\circ$, $\alpha = 0^\circ$), ce qui correspond à une géométrie VOILE ci dessus après une rotation roulis de 90° . On appellera cette géométrie "Radar horizontal" par la suite. Il s'agit d'une prisme croisé.

Egalement, on peut envisager un cas télécommunication, avec la configuration de prisme croisé Voile tournée de 45° en roulis.

Comme l'antenne doit toujours réaliser une gamme ($\Delta\theta'$, $\Delta\alpha'$) de dépointage mission autour de (θ' , α') la compensation ne peut être totale.

L'erreur résiduelle s'analyse comme suit :

Dans le cas télécom au nadir ou radar latéral, l'erreur vaut : 0,7 ($\sin(\Delta\theta')\cos(\Delta\alpha') + \cos(\Delta\theta') - 1$) δp . S'il s'agit d'un satellite géostationnaire

($\Delta\theta'$ et $\Delta\alpha' < 8^\circ$) la sensibilité est réduite d'un facteur 10 !. En orbite basse, on cherche des dépointages bien plus grand à priori. Il est néanmoins possible de rester dans une sensibilité de 0,25 (divisée par 4) avec $\Delta\theta'$ inférieur à 40° (incidence sol 50° à 800 km) mais en se limitant à un gisement positif (vers l'avant ou bien vers l'arrière du satellite).

Dans le cas Radar Voile ou horizontal, le résidu est $0,57 \Delta\theta' \delta p$, = 0,1 δp si ($\Delta\theta' = 10^\circ$). On a réduit la contrainte de planéité dans un rapport 10 ! De $\lambda/20$ on passe à $\lambda/2$. Par exemple en bande L, la tolérance de 12 cm correspond au ventre maximal que ferait une antenne Voile de 20 m de haut formée de 10 panneaux rigides reliés avec des mécanismes sommaires n'assurant que $0,5^\circ$ de précision de calage (type mémoire de forme compte tenu du faible couple à fournir en absence de câbles RF). En bande P, la tolérance est de 35cm) et la planéité n'est pas un problème.

En fait, les points de visée sol correspondant à l'autocompensation pour une géométrie donnée d'antenne sont sur une ligne, voire même deux lignes, correspondant à l'intersection avec la terre du cône orthogonal à l'antenne et contenant YA. Pour une mission pouvant se contenter de cette ligne de visée, le relâchement de déformation est total, pour le cas général les sensibilités ci-dessus se comprennent en fonction d'écarts à cette ligne.

Ainsi la configuration prisme télécom au nadir ci-dessus donne une ligne d'autocompensation bien transversale adaptée à une mission d'observation ou de communication en orbite basse à très grande fauchée et antenne très relâchée. On peut même l'optimiser en jouant sur θ afin de diminuer ou augmenter l'excursion d'incidence au sol le long de cette ligne.

25

1.4 Analogie avec une lentille radioélectrique à faces non co-axiales

On présente ci-dessous, le fonctionnement du satellite prisme 1 en présence de petits écarts angulaires d'attitude du satellite prisme 1 ou de position du satellite 2. Ces écarts sont de quelques degrés, ce qui permet de raisonner en différentiel.

30

Le satellite prisme 1 s'analyse comme une lentille radioélectrique à faces décollées.

Dans la suite, on appelle face équivalente arrière du prisme 1 la projection de son antenne sur le plan normal à l'axe Y passant par A, et
 5 face équivalente avant la projection du satellite prisme 1 sur le plan normal à la direction visée passant par A. La deuxième face peut être obtenue à partir de la première par:

- rotation de θ' dans le cas d'un satellite prisme direct ou de deux rotations θ' et α' dans le cas d'un satellite prisme 1 croisé).
- 10 - et éventuellement contraction ou dilatation des dimensions entre X et R_x d'une part et entre Y et R_y d'autre part, qui ne changent pas les surfaces des faces équivalentes car les facteurs d'aspect du satellite prisme 1 sont identiques le long de l'onde (même incidence de l'onde de chaque côté). Cette identité se dégrade quelque peu avec le dépointage mission
 15 jusqu'à faire apparaître une différence relative de 10% entre ces surfaces à $\pm 10^\circ$.

Chaque point de la face équivalente arrière est traversé par l'onde d'illumination avec un certain retard, le point correspondant dans la face équivalente avant voit l'onde mission avec un certain retard. Le rôle
 20 fondamental de l'antenne prisme 1 est d'appliquer le même retard point par point aux deux faces équivalentes (à une constante près commune pour tous les points), ceci dans les deux sens de transmission. C'est ce que fait une lentille radioélectrique focalisée à l'infini dans des directions opposées. Le satellite prisme 1 est une lentille dont les deux faces ne sont plus
 25 physiques, sont décollées, et éventuellement étirées, et mises autour d'axes distincts.

Quand l'illuminateur est bien sur l'axe Y, le retard est constant sur les faces. Vu du sol selon R, tout se passe comme si on avait à faire à une
 lentille électrique (donc mono-axe) avec un illuminateur miroir placé en
 30 prolongement selon R, c'est à dire issu de l'illuminateur vrai via les rotations θ' et α' .

1.5. Ecart illuminateur et fonctionnement multi-illuminateur

Un écart angulaire du faisceau d'illumination de I selon X (rotation
 AI autour de AZ) ou selon Z (rotation AI autour de AX) se retrouve au
 5 niveau de l'illuminateur miroir selon Rx et selon Rz, puis par le
 fonctionnement de type lentille selon – Rx (rotation Ry autour de de Rz) et

–Rz (rotation de Ry autour de Rx) dans l'empreinte du faisceau au sol.
 Néanmoins, le prisme modifie l'écart suivant un facteur égal au rapport
 entre les dimensions faces équivalentes avant et arrière, ceci pour chacune
 10 des directions d'écart X ou Z. En effet, les excursions de retard sont
 reproduites entre faces par le satellite prisme 1 mais les pentes des retards
 et donc les dépointages varient lorsque les dimensions ne sont pas
 conservées. Le produit de ces rapports est unitaire car les surfaces des
 faces équivalentes sont identiques (quasi identiques si dépointage mission).

15 Pour un satellite prisme 1 direct type télécom (à visée nadir ou
 dépointée en roulis seulement) ou type radar latéral, calé à 45° par rapport
 à l'illumination, les dimensions sont conservées, le satellite prisme 1 est
 isotrope vis à vis des modifications d'illumination.

Pour un satellite prisme 1 croisé type Voile le rapport selon X est
 20 $\text{Cos}(\alpha)/\text{Sin}(\alpha) = 1/\text{Tg}(\alpha) = 0.7$, tandis que le rapport selon Z est $1/\text{Cos}(\theta') =$
 1/0,7

Le satellite prisme 1 étant un système linéaire, plusieurs
 illuminateurs donnent plusieurs faisceaux dont les empreintes dans le plan
 Rx Rz reproduisent le motif des illuminateurs vu dans le plan AXAZ après
 25 symétrie autour A et un étirement éventuel conservant la surface du motif.

Si le satellite prisme 1 met en oeuvre la correction de position telle
 que décrite ci-après dans le § 1.7, alors la configuration au sol des
 faisceaux ne met en jeu que la position relative des illuminateurs et la
 commande éventuelle de balayage de l'antenne pour traduire l'ensemble.

30 Une autre configuration multi-faisceaux facilement maîtrisable est
 celle qui résulte d'illuminateurs décalés sur l'orbite et donc vus décalés sur
 AZ du fait de la courbure de l'orbite. Ceci correspond à un alignement

transversal à l'orbite dans la géométrie Voile et à un alignement le long de l'orbite dans le cas télécom ou radar horizontal. Un intérêt possible du cas télécom obtenu par rotation roulis de 45° à partir du cas voile (voir §1.3) est de permettre de créer un alignement de faisceaux à 45° à partir d'illuminateurs décalés sur l'orbite, et donc d'offrir en télécom deux approches complémentaires.

Dans le cas du radar, il devient possible de faire une fauchée importante (cas transversal) indépendamment de la résolution (ce qui est théoriquement impossible autrement) ou de faire une résolution extrêmement fine (cas le long de la trace) indépendamment de la fauchée. On remarque aussi que si l'on dispose d'une succession d'illuminateurs l'un derrière l'autre pour couvrir un domaine d'incidence (cas Voile) il n'est plus nécessaire de disposer d'une antenne à balayage. Celle ci se limite à une fonction retard.

Une mission télécommunication a à priori besoin de faisceaux dans les deux directions. Si la direction principale est assurée par les satellites illuminateurs, la direction transversale peut être réalisée par la fonction multi-faisceaux interne au satellite prisme 1 et mise à disposition de manière transparente à chacun des illuminateurs. Il faut dans ce cas que les faisceaux soient à fréquence distinctes, au moins dans leur liaison avec l'illuminateur afin d'être différenciés, quitte à être remis par le satellite prisme 1 sur un nombre plus restreint de fréquences, fonction de la capacité de réutilisation de fréquence au sein de la mosaïque multi-faisceaux du satellite prisme 1. Une application de l'invention à la télécommunication est décrite ci-après de façon plus détaillée.

1.6 Comportement vis à vis de l'attitude du satellite prisme

Pour un satellite prisme 1, un changement d'attitude combine deux effets quand à l'impact sur la position au sol de l'empreinte du faisceau :

celui d'un mouvement de l'illuminateur dans un repère lié au satellite prisme 1 et celui du mouvement du repère.

Concernant le premier effet, une erreur tangage (autour de $+AX$) correspond à un déplacement illuminateur en $+Z$; une erreur lacet (autour de $+AZ$) à un déplacement en $-X$, et un erreur roulis est sans effet.

L'effet roulis d'un satellite prisme 1 est inchangé par rapport à une antenne-standard.

Pour un satellite prisme 1 direct type télécom (à visée nadir), une erreur tangage δt produit dans son effet direct et classique un mouvement du faisceau en $-Y$ soit selon R_z ici, tandis que l'effet induit par l'illumination est de même amplitude en $-R_z$. Il y a donc auto-compensation. L'effet induit du lacet δl est un déplacement du faisceaux en $+R_x$ et donc selon $+X$, équivalent à un effet roulis direct de même ampleur, l'effet direct lacet reste bien sur présent.

Pour un satellite prisme 1 croisé type Voile, une erreur lacet δl produit dans son effet direct un déplacement au sol du faisceau selon $+Y$ fonction de la longueur de visée projetée sur YAX , soit $\delta l \cos(\theta')$ * longueur ligne de visée. L'effet induit sur $+R_x$ et donc sur $-Y$ est fonction de $\delta l / \text{Tg}(\alpha)$ et de la longueur de visée. Mais comme la condition d'auto compensation des déformées assure $\cos(\theta') = 1 / \text{Tg}(\alpha)$, il y a auto-compensation sur l'erreur d'attitude lacet. L'effet induit du tangage δt est selon $-R_z$ équivalent à un rotation roulis d'amplitude $\delta t * 1 / \cos(\theta')$. L'effet direct du tangage reste présent.

L'auto-compensation du satellite prisme 1 en tangage dans un cas et en lacet dans l'autre peuvent s'établir encore plus directement en remarquant que pour chacun des cas, l'erreur d'attitude en question est une forme de déformation transverse au plan d'antenne.

De manière générale, si l'on décompose l'erreur d'attitude sur 3 axes, l'axe roulis, un axe contenu dans le plan du satellite prisme 1, le troisième normal au deux premiers, l'erreur en roulis est inchangée, celle de l'axe dans le plan disparaît, la troisième est maintenue et surajoute une composante en roulis.

Si l'on considère qu'en radar l'erreur de roulis n'est pas un gros problème (car elle se restitue et se compense très bien par le Radar) un satellite prisme 1 Voile Radar introduit au moins une relaxation par la suppression du lacet.

- 5 Sur le plan de l'attitude, le principe n'est pas aussi favorable en télécom géostationnaire car l'axe lacet aujourd'hui moins sévère serait avec l'invention contraint comme l'axe roulis.
-

1.7 Cas d'un prisme travaillant en réflexion

10

Tout ce qui précède basé sur le modèle de lentille pourrait s'appliquer de la même manière à un prisme travaillant en réflexion, on parlerait plutôt de miroir à face décollées. Bien sûr, la compensation des déformations ne s'applique plus.

- 15 C'est même le contraire, par contre le fonctionnement multi-illuminateur reste le même mise à part que l'inversion des écarts n'existe pas et permet de retrouver le phénomène connu en réflexion de doublement de la sensibilité à l'attitude.

20 1.8 Compensation lacet et tangage à partir des signaux d'illumination

- 25 Le satellite illuminateur 2 (dont le centre a été référencé par I sur la figure 1) et le satellite prisme 1 peuvent s'analyser comme deux satellites évoluant dans un tube de certain diamètre. L'axe IA est susceptible de s'écarter de l'axe Y dans le repère du satellite antenne. Rien que l'éloignement des deux satellites et la courbure engendrée constitue un facteur d'écart. Cet écart doit être pris en compte. On considère par la suite les deux satellites à 100 km l'un de l'autre et un tube de 5 km.

- 30 Les deux satellites connaissent leur position : celle du satellite 2 peut être transmise au satellite 1 par le canal de servitude qui de toute façon doit exister pour passer les ordres de commandes de l'antenne. Le

satellite 1 connaît donc très précisément l'écart d'orientation du satellite 2 et le compense au travers des commandes de phase de l'antenne en retranchant ses effets sur la phase vue dans le plan théorique de l'antenne, les écarts du plan d'antenne par rapport à son plan théorique restant l'erreur
5 d'attitude avec ses conséquences vues précédemment.

L'attitude de l'antenne peut également être mesurée et corrigée. A cet effet, on mesure les différences de phases d'illumination vues en 4
points de l'antenne : 2 points dans XAY ne voient au premier ordre (par rapport à la valeur attendue prenant en compte le lacet théorique de cette
10 base) que la somme de l'erreur lacet et de l'écart Δl selon Y ; de même pour deux points dans XAZ vis à vis du tangage.

Les écarts de Δl étant connus, on calcule le lacet et le tangage du satellite 1 (pour des erreurs d'attitude et d'écart illuminateur faibles ($< \text{qq}^\circ$ par exemple) car les bases au sol voient aussi des termes en produit
15 d'ordre 2 de ces erreurs qui n'affectent ici la mesure que de $\text{qq } 10^{-4}$ radians ou qq centième de degré. Le système devient alors complètement compensé en attitude, sauf pour l'axe roulis, où tout reste comme pour un satellite classique. La mesure des différences de phase peut se faire avec
le signal mission (radar ou télécommunication) mais il vaut probablement
20 mieux utiliser un ton (raie simple) et comparer les dates de passages à zéro. Puisque l'on vise de grandes antennes (> 20 m), une précision modeste (1cm) confère déjà une précision d'attitude de 3 centièmes degrés. L'inconvénient est la nécessité d'acheminer des liaisons RF (soit le ton RF, soit la référence de démodulation et de datation) d'un point à l'autre de
25 l'antenne alors que l'on voulait s'affranchir de liaisons entre panneaux à déployer.

Tout peut donc être compensé, sauf le roulis, ce qui constitue un problème à résoudre dans le cas des applications télécommunication, mais pas des applications radar.

30

2. ANALYSE D'UNE ARCHITECTURE DE REALISATION

2.1 Architecture de l'antenne

Comme on l'aura compris à travers ce qui précède, l'antenne satellite prisme 1 doit constituer le faisceau mission par une déviation importante du faisceau d'illumination. La fréquence de la mission est la même pour les deux trajets en radar et est différente en télécom car les deux trajets coexistent. Autour d'une déviation de base fixe, s'ajoute le balayage mission.

L'antenne du satellite est une antenne active qui utilise pour dépointer le ou les faisceaux des fonctions de retard et/ou des fonctions de déphasage (même si idéalement elles ne devraient utiliser que des retards). Le déphasage constitue un retard proportionnel à la longueur d'onde de chacune des composantes fréquentielles du signal mission et modulo (λ), tandis que le terme retard s'applique au retard pur. Quelques soient les termes utilisés dans la description qui suit, il y a une certaine latitude suivant le type d'application d'interchanger déphasages et retard, même si la déviation principale réalisée par le prisme gagne du fait de son ampleur à l'emploi du retard pur.

Comme on l'aura compris de ce qui précède, la déviation de base se traduit par un retard introduit en chaque point entre la face arrière et la face avant. La fonction de retard est monodimensionnelle selon P_z pour un satellite prisme 1 direct (cas télécom à visée nadir et radar latéral) bi-dimensionnelle selon P_z et P_y dans un satellite prisme 1 croisé.

Le trajet géométrique $T(M)$ vu en un point M de l'antenne (ou la ligne de points L dans le cas monodimensionnel) est la somme d'une composante arrière ($AM.X$) et d'une composante avant ($-AM.R$). Dans le cas général ces deux composantes sont bidimensionnelles, dans le cas du satellite prisme 1 direct elle sont toutes deux monodimensionnelles, dans le cas du satellite prisme 1 croisé on peut avoir l'une (arrière pour la voile radar) ou les deux bidimensionnelles. Le point M_0 voyant le plus gros trajet géométrique correspond au zéro de la fonction de retard $T(M_0)-T(M)$ qui n'est que positive. Les valeurs de retard étant de l'ordre des dimensions de

l'antenne, il est nécessaire d'échantillonner large cette fonction pour réduire le nombre de retard si l'on veut pouvoir les introduire dans la tranche de l'antenne.

C'est pourquoi on réalise un maillage de l'antenne. Les déformations ne sont pas compensées à l'intérieur des pavés mais cela ne nuit pas à l'intérêt du dispositif car la planéité est surtout difficile à tenir sur de grandes dimensions.

Ainsi, on translate à zéro par pavé la fonction de déformation. Les marches entre pavés sont égales, suivant le cas, au différentiel de déformée entre les points centraux des pavés (le signal illumination est capté au point central de la face arrière du pavé) ou au différentiel de la moyenne dans le pavé de la déformée (le signal illumination est capté sur l'ensemble de la face arrière du pavé). Les pavés doivent rester plans tout en pouvant être inclinés suite aux déformations, la fonction macroscopique de déformation peut disposer du facteur 10 de relâchement.

Un pavé est par exemple de plusieurs m^2 de surface. Si l'on vise de très grandes antennes avec beaucoup de panneaux à déployer dans les deux dimensions, il est raisonnable de s'imposer la rigidité au niveau du panneau, et de faire porter le relâchement sur les mécanismes et la structure raidisseuse. Dans ce cas le pavé est le panneau.

A l'intérieur d'un pavé, en allant de la face arrière à la face avant, les moyens qui constituent l'antenne réalisent les différentes fonctions suivantes, illustrées sur la figure 2 : regroupement/éclatement arrière (étape 3 sur la figure 2), amplification (étape 4), introduction d'un retard fixe ou variable (étape 5), regroupement/éclatement avant (étape 6).

La partie en avant du retard est inchangé par rapport une antenne active actuelle, où les retards variables et fixes existent également mais sur des pavés tellement grands qu'il est possible de laisser ces retards dans la plate-forme. Dans le cas de la voile les retards fixes et variables existent déjà, mais de taille moindre pour les fixes et sur un pavé égal au panneau.

Le regroupement/éclatement avant n'est pas équi-longueur, mais doit reproduire la composante avant de la forme de la fonction de retard vue dans le pavé. Pour les cas de satellite prisme 1 direct on se retrouve dans

la même situation que pour la voile radar aujourd'hui avec une fonction mono-dimensionnelle à pente forte (45°) le long de Pz. Celle ci ne pose pas de problème particulier, en adoptant une répartition en branches successives (et non en étoile) le long d'un tronc aligné sur Pz, qui limite les longueurs des branches et ne crée pas de surcroît de longueur de connexion par rapport à un éclatement équi-longueur que l'on trouve dans un cas standard. Chacune des branches est éclatée selon Py en étoile équi-longueur si satellite prisme 1 direct ou de nouveau si satellite prisme 1 croisé en longueur différenciées en étoile (faible incidence de l'onde) ou par branches successives (forte incidence de l'onde). Ce dernier éclatement peut être intégré dans un élément rayonnant unique sur toute la longueur Py, dans le cas où la mission ne demande pas de balayage électronique autour de Pz. (cas radar sans spotlight). L'enchaînement ci-dessus d'éclatement selon Pz et Py peut être inversé pour d'autres types de satellite prisme 1.

Le regroupement/éclatement arrière peut être fait de la même manière. On remarque que pour les cas radar voile, le caractère plus rasant de l'onde permet de réduire la taille des branches de l'arbre. Ce regroupement/éclatement arrière peut disparaître si l'on prélève le signal qu'en un seul point arrière du pavé. Comme on va le voir il faut malgré tout conserver une surface minimale mais suffisamment petite pour considérer que la fonction d'éclatement fait partie intégrante de l'élément rayonnant arrière (faibles longueurs de retard à intégrer). Il est alors possible de garder la face arrière disponible pour d'éventuels protections thermiques ou raidisseurs comme cela se fait de manière générale. Dans le cas de la Voile on peut ainsi garder la quasi totalité de la face arrière pour les cellules solaires (l'évacuation thermique se faisant alors par l'avant).

L'amplification /réception arrière met en jeu de très faibles niveau de puissance (voir ci-après) et peut donc se concevoir comme une modification de l'amplification/réception primaire que l'on trouve dans les antennes actives normales pour relayer les signaux vis à vis de la plateforme.

En résumé, l'antenne du satellite prisme correspond à une architecture d'antenne classique, sur laquelle on a introduit un maillage de retards fixes ou variables par pavé. (Le retard variable n'est pas nécessaire pour les applications télécommunications et radars qui ne visent pas les hautes résolutions).

Dans le cas où le pavé est le panneau à déployer, le retard fixe n'introduit aucune contrainte supplémentaire, au contraire il vient à la place du câble RF aller/retour que l'on a aujourd'hui, qui fait plus de longueur totale et qui complique le déploiement.

Dans le cas d'une antenne à forme allongée, on ne cherchera à compenser les déformées que sur la longueur, d'autant plus quand cette dernière correspond à l'axe de déploiement (cas Voile et à priori aussi radar horizontal). Dans le cas Voile, le pavé étant le panneau, la fonction de retard arrière est nulle et on est ramené à l'architecture actuelle, sauf que le mode de déformation thermoélastique principale (mode banane transversal au plan) est relâché d'un facteur 10 et qu'il n'y a plus la contrainte des câbles, c'est à dire que les deux difficultés mécaniques disparaissent. Par contre dans une telle application simplifiée du principe on ne peut plus espérer compenser le lacet de la voile. On peut faire le même raisonnement avec un radar horizontal qui serait alors une très bonne architecture pour un radar basse fréquence et basse résolution (bande P ou bande L type Lightsar).

2.2 Impact de l'échantillonnage - Taille des pavés

L'échantillonnage introduit sur les faces équivalentes du satellite prisme 1 des lois de phases avec des ruptures et des translations par portion, à l'origine lorsqu'elles sont périodiques, de lobes de sous-réseaux qui pénalisent le gain utile et sont une source d'ambiguïté en radar.

a) Quand il n'y a aucune erreur, de position de illuminateur, d'attitude ou de déformées, il n'y pas de ruptures, car la fonction de retard a été établie à l'intérieur des pavés et entre pavés pour cette configuration

Tout au plus peut-il apparaître de légères erreurs de pentes par rapport aux pentes de diagrammes à tenir lors des dépointages et en bord de la bande du fait de la discrétisation des lignes à retard variable

b) Quand l'illuminateur bouge, le satellite prisme 1 reproduit ce mouvement sur le faisceau émis vers le sol, par le biais des couplages entre face réalisée aux mailles de la fonction de retard, qui ne peuvent que faire apparaître des ruptures périodiques en marche d'escalier. Il en est de même lorsqu'il s'agit des mouvements d'attitude de l'antenne, même si dans ce cas le faisceau ne bouge pas toujours (voir § 1.4). Dans la géométrie du satellite prisme 1 direct de télécommunication avec dépointage mission entre 55° et 35° de la normale antenne, la configuration limite d'escalier est celle qui résulte d'une erreur de 1° (selon θ) avec un maillage de 10λ dans la dimension P_z (correspond en moyenne sur la gamme de dépointage à 0,2 dB de perte par trajet et à des lobes à -18 dB, le plan d'onde dans la direction visée est en toits d'usine avec des excursions de $\lambda/8$). Pour un même effet, le maillage dans l'autre dimension P_y qui assure le dépointage $\pm 10^\circ$ de la normale est plus fin (les maillages effectifs dans la direction visée étant les mêmes) et est de 7λ . Si par contre on connaît (ou on mesure s'agissant l'attitude) ces erreurs (voir § 1.5) il suffit alors de modifier au niveau de chaque pavé la fonction de retard de façon à compenser cette erreur et à empêcher les translations par portion (ce qui revient aussi à asservir la fonction de déviation du satellite prisme 1). Des erreurs supérieures à 1° peuvent alors être compensées. La correction est réalisée au niveau de la ligne à retard variable éventuellement déjà présente dans chaque pavé ou par le biais d'un déphaseur que l'on introduirait à cet effet (sans surcroît de complexité vu le grand nombre de déphaseurs déjà présents). On peut choisir indépendamment de compenser les mouvements de illuminateur et/ou ceux de l'attitude. Concernant l'attitude, la correction au niveau des pavés supprime l'effet induit en même temps que les lobes de sous-réseaux, par contre la correction de l'effet direct nécessite d'introduire une rampe de phase sur l'ensemble de l'antenne.

c) Quand l'antenne se déforme, les déformations correspondant à des composantes linéaires par axes sont des erreurs d'attitude qui renvoient au cas précédent. Les autres déformations ne génèrent pas de lobes de sous-réseaux et sont acceptables dans la mesure où les déformées propres aux panneaux vérifient la limite standard.

Ainsi :

- Avec un maillage à 10λ (ex : 33 cm en bande X radar ; 2,5 m en bande L radar, 7 m en bande P) dans la dimension Pz et 7λ dans la dimension Py (on se situe toujours dans le cas du prisme direct télécommunication), on peut disposer de toutes les fonctions du principe en mono-illuminateur

- dans une configuration avec plusieurs illuminateurs, ces derniers ne pourront pas être écartés de plus de 1° de celui sur lequel on s'asservit (configuration multi-faisceaux limitée), à moins d'utiliser un maillage plus serré.

2.3 Bilan de la liaison arrière - Taux de remplissage

Le gain retour de l'antenne satellite prisme 1 est constitué en deux étapes : au niveau du regroupement pavé puis ensuite dans la liaison arrière au niveau de la réception illuminateur. Si s est le rapport S/B signal/bruit mission maximum et p est le nombre de pavés, le rapport S'/B' maximum de réception en sortie d'un pavé de regroupement est au maximum de s/p . La liaison arrière transporte les p signaux S' et les p bruits B' et rajoute un bruit B''. Pour que le total des bruits B' ne soit pas affecté de plus de 0,5 dB par cette liaison il faut que pour chaque pavé on vérifie $B'/B'' > 8/p$. Cette condition permet de déterminer la puissance nécessaire au niveau de chaque pavé pour émettre B' et donc celle nécessaire quand le signal est présent au maximum.

Pour une antenne de l'illuminateur de 1m^2 , au total des pertes de réception (+ facteur de bruit) et d'émission de 8 dB (pessimiste), une distance entre satellites de 100 km, une largeur de bande mission fait

300MHz, un pavé rempli à l'arrière sur une surface de 2λ par 2λ (que l'on peut considérer comme un seul élément rayonnant rendu directif dans la direction de l par le couplage de plusieurs éléments élémentaires espacés de $0,5 \lambda$), la puissance à émettre ne dépend pas de λ et est de $0,16 \text{ s/p}^2 \text{ W}$.

- 5 Avec $s = 25 \text{ dB}$ (cas extrême que l'on ne rencontrera qu'en radar) et un minimum de 10 pavés, il faut donc $0,5 \text{ W}$ par pavé. Par contre l'amplificateur devant travailler en linéaire, on peut prévoir un MMIC standard de 2 à 3 W.

A l'aller le signal mission doit être reçu par chacun des points de regroupement avec un rapport S/N fort de manière à garder une pureté de signal et assurer que la puissance d'émission avant de l'antenne reste consacrée au signal et non au bruit. C'est surtout la deuxième contrainte qui prime car la pureté du signal radar focalisé par l'antenne sera améliorée dans le rapport p. On choisit par conséquent un rapport S/N $> 20 \text{ dB}$.

- 15 En reprenant les mêmes hypothèses que précédemment, ceci impose une puissance d'émission de 2 W.

Dans le cas du radar, l'illuminateur reçoit l'écho direct de l'antenne. Avec les puissances en jeu, et en supposant que le flux reçu est refocalisé dans la direction d'arrivée (en bénéficiant d'un gain d'antenne ce qui est impossible vue la géométrie), chaque pavé de 1 m^2 réémet une PIRE parasite de l'ordre de -50 dBW dans le pire cas en bande X. Or, celle-ci est
20 située à 56 dB sous le vrai signal Radar.

La liaison arrière considérée dans son ensemble avec les p liaisons élémentaires obéit au diagramme de l'antenne satellite prisme 1
25 intrinsèquement pointé en permanence sur l'illuminateur. Ce diagramme est le même que celui utilisé à l'avant, aux homothéties près résultant des angles d'aspect de l'antenne. Ils portent les même lobes de sous-réseaux liés à l'échantillonnage de la fonction de couplage. Mais à la différence du diagramme avant, les lobes de sous-réseaux sont toujours présents à un
30 niveau égal au lobe principal quel que soient les écarts de l'attitude satellite prisme 1 et de la position illuminateur car ils ne sont pas modulés par le gain du pavé si ce pavé n'est pas du tout rempli à l'arrière. Un non-

remplissage partiel n'empêche pas, on l'a vu, la fonction de transmission d'être réalisée sans difficulté. Le seul risque est qu'une émission parasite soit perçue dans un lobe de sous-réseaux, il en résulterait un autre faisceau au sol et aussi des lobes de ce faisceau qui tomberont dans le faisceau nominal. Ceci est gênant même si à l'avant se produit un découplage en niveau entre les lobes de sous-réseaux (car les pavés sont remplis à l'avant). Il est surtout nécessaire de se protéger des émissions terrestres en remplissant le pavé jusqu'à fermer sur un angle de 20° par rapport à l'horizontal. Ce masquage correspond à la demi-ouverture effective sur l'horizontal (car l'antenne est inclinée de 45° dans le cas télécom) du remplissage 2λ par 2λ considéré précédemment. Avec le maillage à 10λ (selon P_z , 7λ selon P_y) les lobes de sous-reseau sont espacés de plus de 3° et ne gênent donc pas le fonctionnement avec plusieurs illuminateurs puisque ces derniers sont déjà contraints avec une telle maille de rester dans un écart relatif de 1° . Avec un tel maillage on conclut qu'un taux de remplissage arrière d'environ $1/18$ est suffisant.

En résumé, le bilan de liaison arrière ne pose pas de difficulté. L'éclatement regroupement arrière n'est pas nécessaire (mais l'élément rayonnant arrière doit faire plus de 2λ par 2λ). Le faible remplissage arrière de l'antenne ($1/18$) permet de ne pas affecter l'approche mécanique et thermique usuelle

2.4 Translation de fréquence assurée par le satellite prisme

2.4.1 NECESSITE PREMIERE

Le couplage parasite entre les deux faces du prisme que constitue l'antenne ne doit pas amener le signal d'émission à l'entrée de la réception avec un niveau plus fort que 20 dB sous le signal de réception.

Pour s'affranchir radicalement de tout couplage, l'antenne prisme crée une translation de fréquence utilisée dans la liaison aller comme dans la liaison retour.

5 2.4.2 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT ET DES SOLUTIONS POSSIBLES, AVANTAGES

2.4.2.1 AVANTAGE EN CONFIGURATION MULTI-ILLUMINATEUR

10 Reprenons le modèle de lentilles à faces décalées en imaginant que l'on applique la translation de fréquence au niveau de la surface équivalente arrière, dans la réalité cela revient à l'appliquer sur la surface réelle avec une carte de phase selon un plan incliné. Pour tout illuminateur vu suivant une incidence ϕ_i sur cette face équivalente correspond une carte

15 de phase sous forme de plan incliné de rampe en $\sin(\phi_i) (f+F)$, et donc modifiée d'un facteur $(f+F)/f$ par rapport au cas sans translation. Cette modification se retrouve sur l'autre face équivalente et crée une modification dans le même rapport du sinus de l'incidence. La géométrie angulaire suivant laquelle est vue une configuration d'illuminateurs est ainsi reproduite

20 sur les faisceaux en aval, les sinus des écarts au centre étant modifiés dans le rapport $F+f/f$, les gisements étant inchangés. Pour de petites incidences sur la face équivalente de l'ordre de 10° , tous les écarts angulaires des illuminateurs pris deux à deux sont reproduits dans ce rapport sur les faisceaux correspondants. Il y a lieu de rajouter dans cette transformation

25 géométrique l'anisotropie éventuelle existant déjà sans translation dans le cas d'un prisme croisé. On peut ainsi dire que pour faire une configuration de faisceaux à l'aval donnée il faut condenser ou dilater la configuration angulaire des illuminateurs dans le rapport $f/(F+f)$ par rapport au cas sans translation.

30 La vocation première du prisme étant plutôt la basse fréquence (qui conduit à de grandes antennes) et compte tenu des fréquences élevées des liaisons intersatellite (>20 ou 40 Ghz), on voit que l'on peut obtenir des

rapports d'amplification de plus de 20. L'écart maximum inter-illuminateur vu en aval subit la même contrainte liée à l'échantillonnage de la fonction de couplage et doit être limitée à 1° pour un maillage de $10\lambda \times 7\lambda$, λ restant la longueur d'onde de la mission, l'écart vrai correspondant n'est alors que de 10^{-3} radian. Les illuminateurs peuvent ainsi faire l'objet d'un seul satellite multi-illuminateur avec des bras de 5m maximum pour une distance au prisme de 5km.

Pour les cas de missions où les illuminateurs ne peuvent être rassemblés dans un même satellite, on peut avoir intérêt à utiliser la réduction d'écart (si la basse fréquence $f+F$ peut se loger dans une attribution inter-satellite) afin de relâcher la contrainte sur la navigation relative des illuminateurs.

Avec une même configuration d'illuminateur, on peut désormais dupliquer radialement les configurations de faisceaux qui en résultent en utilisant plusieurs valeurs de fréquences. Ou dit autrement, on dispose d'une fonction multi-faisceau interne au prisme obtenue par sélection fréquentielle entre canaux dans les couplages retard. Mais on peut tout aussi bien obtenir la même chose avec des canaux à la même fréquence de translation avec des déphasages différents dans les couplages retard.

Les signaux d'illumination (pour la mission comme pour la translation) sont en général à plus haute fréquence que le signal mission, le remplissage arrière toujours typiquement de $2\lambda \times 2\lambda$ par pavé (de cette fois-ci à la longueur d'onde de l'illumination) sera encore plus lacunaire si $(f+F)/f$ est grand. Rien n'est changé concernant l'échantillonnage du couplage entre face, car celui-ci est contraint à la longueur d'onde de la mission et non à celle de l'illumination. les lobes de sous-réseaux arrières seront plus nombreux et resserrés mais pour un même motif mission, les écarts entre lobes de sous-réseaux arrière et les écarts illuminateurs varient tous deux avec le rapport $f/(f+F)$, ce qui veut dire que les lobes de sous-réseaux arrières qui résultent du nom remplissage ne sont pas plus gênants qu'en absence de translation.

On peut noter que l'écart angulaire relatif apporté par le prisme n'est plus rigoureusement le même dans la bande, car l'amplification angulaire varie dans la bande en $-\Delta f/f$ (pour $F \gg f$). Comme l'amplitude angulaire du motif mission créé à partir de plusieurs illuminateurs est limitée à quelques degrés, cela ne pose pas de problèmes avec des bandes relatives de quelques %.

La fréquence de translation ne peut être en parfaite cohérence avec le signal. L'erreur relative qui en résulte sur l'écart angulaire μ du faisceau créé par i par rapport à celui créé par le foyer s'écrit :

$$\delta\mu/\mu < St - ((F_i - F)/(F_i - F)) \quad St = 2(F/f) \quad St, \text{ avec } F_i \text{ fréquence d'émission de l'illuminateur } i \text{ et } St \text{ stabilité de fréquence doppler relatif}$$

Avec une stabilité relative de 10^{-5} , c'est à dire aucune précaution particulière, l'erreur angulaire reste insignifiante.

On note que tout ce qui précède s'applique également au trajet retour, car les moyens sont réciproques.

2.4.2.2. DEFORMEES

L'effet de la déformée P n'est lié qu'à l'incidence sur l'antenne réelle. Sa valeur est

$2\pi P \cos(\phi_1) (F+f) / C$ à l'illumination et $-2\pi P \cos(\phi_2) f / C$ à l'émission avec ϕ_2 et ϕ_1 incidence réelle du trajet de référence à l'émission et à l'illumination. L'autocompensation est obtenue pour $\cos(\phi_2)/\cos(\phi_1) = (F+f)/f$ alors que la condition est $\phi_2 = \phi_1$ sans translation.

Pour évaluer la sensibilité de cette compensation on construit un repérage d'écart angulaire vue de l'antenne autour d'une illumination de référence normale à la face équivalente, basé sur des écarts dans le plan contenant les deux axes des faces réelles et équivalentes et des écarts orthogonaux transverses à ce plan. Les premiers sont des écarts d'incidence $\delta\phi_1$ identiques suivant la face considérée arrière équivalente ou réelle, les seconds sont des écarts à iso-incidence réelle. De même on construit un repérage d'écarts autour de la visée aval résultant de la

déviations de l'illumination de référence, les écarts d'incidence $\delta\phi_2$ sont identiques suivant la face considérée avant équivalente ou réelle.

L'effet de la déformée sur la phase à l'illumination ne dépend que de la composante $\delta\phi_1$ de l'écart et pas de l'autre, il est en $-\sin(\phi_1) (F+f) \delta\phi_1$. L'effet de la déformée sur la phase à l'émission ne dépend que de la composante $\delta\phi_2$ et est en $\sin(\phi_2) \delta\phi_2 f$. Pour un même résultat en aval, l'écart $\delta\phi_1$ à l'illumination sans translation aurait été dans le rapport $f/(F+f)$ et donc avec un effet $-\sin(\phi_1) f \delta\phi_1$. Le résidu total est en $\sin(\phi_1) (F+f) \delta\phi_1 + \sin(\phi_2) \delta\phi_2 f$. Ce qui compte est essentiellement la deuxième composante car c'est là que se situe la gamme de balayage. La sensibilité à $\delta\phi_2$ est en $\sin(\phi_2) f$ plus faible que pour le cas sans translation, car ϕ_2 est en général plus faible que dans le cas sans translation (30° dans l'exemple ci-dessous au lieu de 45°), soit un résidu de 7% en bord de couverture au lieu de 10%.

On note que tout ce qui précède s'applique également au trajet retour, car les moyens sont réciproques.

2.4.2.3 EMISSION DE TOUT OU PARTIE DE LA FREQUENCE DE TRANSLATION PAR UN FOYER ILLUMINATEUR OU UN FOYER SOL

De grandes amplifications d'écart telles que celles décrites ci-dessus sont en fait délicates à implanter. Par exemple pour un prisme direct télécommunication, il faut $\phi_2 + \phi_1 = 90^\circ$, et un rapport d'amplification $\cos(\phi_2)/\cos(\phi_1)$ de 10 conduit à une incidence d'illumination de 85° , beaucoup trop rasante. En se limitant à 60° , on ne dispose que 1,7 comme rapport d'amplification. On pourrait contourner quelque peu la difficulté avec un prisme croisé qui permet d'avoir $\phi_2 + \phi_1 > 90^\circ$. Un autre inconvénient résulte, dans le cas d'une illumination avec un grand nombre n de canaux fréquentiels de la variation de $F + f/f$ et donc de la visée d'autocompensation ϕ_2 .

Cette solution à translation interne reste néanmoins très intéressante dans des cas à valeur réduite de F ou avec peu de canaux (cas radar par exemple).

5 Translation émission avec signal foyer aller

Une autre solution consiste à émettre tout ou partie de la fréquence (ou de la référence servant à la construire) de translation depuis un des illuminateurs, que l'on appellera foyer aller. La fréquence de translation F s'écrit $F = F_i + F_e$, où F_e est la composante issue du foyer. La part de translation réalisée à partir du signal du foyer est supposée de même sens que la translation totale. Par contre F_i peut être de sens opposé..

Pour l'illuminateur situé au foyer que l'on prend comme référence d'illumination dans le modèle à lentille, la raie reçue au niveau de la face équivalente arrière contient la composante de déformée $2\pi P \cos(\phi_1) F_e / C$ et la condition d'autocompensation s'écrit :

$$2\pi P \cos(\phi_1)(F+f)/C - 2\pi P \cos(\phi_1) F_e / C - 2\pi P \cos(\phi_2) f / C = 0, \text{ ou encore } \cos(\phi_1)(F_i+f) = \cos(\phi_2)f.$$

La condition d'autocompensation pour cette illumination est identique au cas d'une translation interne seule à fréquence F_i . Bien sûr, si $F_i = 0$, on se retrouve pour cette illumination dans le cas sans translation.

Pour un autre illuminateur situé en écart le résidu total est en : - $\sin(\phi_1)(f+F) \delta\phi_1 + \sin(\phi_1)f \delta\phi_2$. L'incidence des visées d'autocompensation d'une illumination en écart diffère de l'incidence des visées d'autocompensation du foyer de l'écart des incidences entre l'illuminateur et le foyer multiplié par $\sin(\phi_2)/(\sin(\phi_1)) (f+F)/f$.

Translation réception avec signal foyer retour sol.

A la réception, considérons un signal de translation reçu sur la face terre de l'antenne depuis un foyer retour selon une incidence ϕ_2 , ϕ_1 étant l'incidence selon laquelle un illuminateur reçoit le signal. Considérons une visée sol réception d'incidence $\phi_2 + \delta\phi_2$ le résidu total de compensation est

en $\cos(\phi_1) (F+f) - \cos(\phi_2)f - \cos(\phi_2)F_e + \sin(\phi_2) \delta\phi_2 f$.

L'autocompensation est obtenue lorsque

$$\delta\phi_2 = (\cos(\phi_2) (f + F_e) - \cos(\phi_1) (F+f)) / (\sin(\phi_2) f).$$

- on remarque que dans le cas où $F_i=0$, en mettant le foyer retour sur
 5 un cône de visée d'autocompensation d'émission ($\phi_1=\phi_2$), celui-ci devient
 cône de visée d'autocompensation retour.

Foyer retour sur orbite en opposition de l'illuminateur.

- Une position particulière du foyer retour est sur l'orbite avec un
 10 moyen illuminateur situé du côté opposé par rapport au prisme. On a alors
 $\phi_2=\phi_1 + \gamma$, γ négatif et petit du à la courbure de l'orbite. $\delta\phi_2 = -F_i \text{Ctg}(\phi_1)/f -$
 $\gamma(f+F_e/f)$. L'incidence d'autocompensation retour est $\phi_1+\gamma+\delta\phi_2=\phi_1-$
 $(F_i \text{Ctg}(\phi_1) + \gamma F_e)/f$. Puisque γ est négatif, il est donc possible d'ajuster F_i et
 F_e pour que l'autocompensation à la réception se fasse à la même
 15 incidence qu'à l'émission, en prenant $F_i=0$ à l'émission et F_i et F_e à la
 réception tels que $(F_i \text{Ctg}(\phi_1) + \gamma F_e)=0$.

Utilisation à la réception du signal foyer aller de manière négative.

- Si maintenant, on utilise pour la réception, la fréquence de
 20 translation du foyer aller avec une translation de signe opposé, c'est à dire
 inverse de ce qu'il faut faire pour passer de f à $f+F$, en complétant ensuite
 avec la fréquence interne. On a alors le résidu total en

$$\cos(\phi_1) (F_i+F_e+f) - \cos(\phi_2) f + \cos(\phi_1) F_e = \cos(\phi_1) (F_i+2F_e+f) - \cos(\phi_2)f$$

- 25 Avec $F_i=-2F_e=2F$, on a la même condition d'autocompensation que
 pour l'aller sans translation.

Translation retour avec le signal du foyer aller seul.

- Avec $F_i=0$, il faut alors $F_e < f$ et la condition d'autocompensation est
 30 $\cos(\phi_1)(f+F_e) + \cos(\phi_1)F_e - \cos(\phi_2)f = \cos(\phi_1)(f + 2F) - \cos(\phi_2)f = 0$. Pour
 F petit devant f , $\phi_2 - \phi_1 = -2 \text{Ctg}(\phi_1)F/f$.

L'ensemble de ces analyses de fonctionnement en translation retour est repris qualitativement un peu plus loin.

2.4.3 MISE EN ŒUVRE D'UNE TRANSLATION EXTERNE

5

Comme l'illustre la figure 3, le signal mission de fréquence f en sortie du satellite prisme 1 est émis par l'illuminateur à la fréquence $f + F$ (F éventuellement négatif). La fréquence de translation $|F|$ (raie pure) est émise également par l'illuminateur. Dans chaque pavé il y a un mélange
10 (mélangeur 7 sur la figure 3) entre les deux signaux issus de l'illuminateur.

En appliquant pour la raie de translation le même niveau d'émission (2W) que le signal mission, le bilan de liaison arrière garantit une pureté de la raie de translation en entrée du mélangeur par le biais d'une simple réception (et amplification) dans un filtre sommaire de 10 Mhz (S/N de 35
15 dB). Il n'y a pas besoin de reconstituer la raie de mélange par accrochage de boucle de phase. Si l'on peut désormais choisir une fréquence pour l'illumination mission, cela n'est pas le cas pour l'illumination de translation directe. Toutefois une tolérance peut être acceptée pour le signal de translation étant donné qu'il s'agit d'une raie pure.

20 L'émission d'une référence de la translation sur une autre fréquence choisie plus librement est également possible, mais le mélange n'est plus direct et doit être précédé d'un changeur cohérent de fréquence. Mais dans ce cas on peut alors mettre la référence au voisinage de la bande d'illumination mission et ne pas avoir à dupliquer l'élément rayonnant
25 arrière (ou à le rendre bi-bande).

Les mélangeurs peuvent tout aussi bien être placés après le couplage retard du satellite prisme 1, mais dans ce cas la raie de translation doit parcourir également ce retard, ce qui n'induit pas une duplication des liaisons car la raie et le signal situées à des fréquences distinctes peuvent
30 transiter ensemble. Cette solution est préférée dans le cas d'un satellite prisme 1 à fonction multi-faisceaux car l'illumination se faisant sur autant de canaux fréquentiels que de faisceaux, il est souhaitable de faire passer les

différents signaux par la même fonction de couplage retard plutôt que d'avoir autant de couplages retard que de canaux.

La solution présente même un deuxième avantage dans le sens où le signal de translation et le signal à traduire $F+f$ voient le même effet des 5 erreur de ligne à retard (dilatation), et donc après translation celui-ci n'est vu qu'à la fréquence f , comme dans le cas sans translation. Enfin, pour une raie pure, le déphasage et le retard étant des notions équivalentes, un simple déphasage, d'ailleurs pris en charge par les déphaseurs existants dans le pavé, permet aussi d'éviter de faire transiter la raie dans les retards. 10 Ceci peut être intéressant quand $F+f$ est plus bas en fréquence que f , les effets parasites de retard sont alors plus faibles que dans le cas sans translation à condition de ne pas faire transiter F dans le retard.

En généralisant, il est dans tous les cas possible de faire une translation vers le bas en entrée de la ligne à retard et inverse à la sortie à 15 condition d'appliquer entre les deux fréquences de translation les déphasages correspondant aux retards.

2.5 Trajets aller et retour d'une mission émission/réception

20 2.5.1 CAS SANS TRANSLATION

Dans une mission de télécom, le signal aller et le signal retour coexistent. Comme pour toute antenne active, l'éclatement avant vers les émetteurs de l'antenne et le regroupement avant depuis les récepteurs 25 peuvent devoir être distincts (alors que les deux fonctions sont physiquement confondues en radar) si le décalage fréquentiel aller/retour ne permet pas la séparation des deux trajets sur un même support avec un duplexeur à chaque bout. Pour le satellite prisme 1 il en est de même pour les couplages de retard et le regroupement/éclatement arrière.

30 2.5.2 CAS AVEC TRANSLATION

En cas de translation de fréquence, si on applique au signal retour la translation inverse de fréquence ($f \rightarrow f+F$) avec la même raie de

translation F issue de l'illuminateur (du foyer quand il y a plusieurs illuminateurs) on n'est plus dans l'équivalence avec un retour sans translation. En effet, à l'aller la carte (sur la surface du satellite prisme 1) de phases des raies vient annuler la même carte de phase vue à la fréquence F par le signal reçu à la fréquence $F+f$ pour ne laisser après les mélangeurs que celle vue par le signal à la fréquence f . Au retour, avant les mélangeurs la carte de phase du signal à la fréquence f est opposée de celle de l'aller (opération réalisée par la fonction de retard du satellite prisme 1) de façon à rayonner vers l'illuminateur. Pour que ce rayonnement est lieu aussi à la fréquence $F+f$, il faut que la carte de phase ajoutée par les raies soient réalisées de façon à être opposée à celle selon laquelle ces raies sont reçues à l'aller. A ce problème de pointage des faisceaux facilement remédiable se rajoute un problème encore plus crucial de perte de la compensation des déformées. Celui-ci a déjà été analysé au point 2.4.2.3. Nous reprenons qualitativement les solutions.

L'application directe de la raie reçue du foyer sur le signal après son couplage retard conduit à un dépointage du faisceau retour du système satellite prisme 1 + illuminateur de la valeur $Tg(\phi) 2F/(f+F)$. Ce dépointage peut être corrigé au niveau de la déviation du satellite prisme 1. Il s'introduit un résidu de déformée en $2F/(F+f)$ de la déformée totale. Une telle solution peut néanmoins convenir avec F/f petit et de préférence positif, le résidu supplémentaire de déformée peut alors être réparti sur les deux trajets grâce à un léger décalage de l'attitude du satellite prisme 1. Le résidu qui était au maximum de 10% pour une mission débattant de $\pm 10^\circ$ est accru de 3,5% si $f/F = 5\%$ et de 7% si $f/F = 10\%$. La contrainte de déformées disparaît si la mission est retour uniquement, reste alors la sensibilité à l'attitude pour limiter cette méthode. Une solution de ce type pourrait convenir pour une mission ne demandant pas d'amplification ou une mission mono-illuminateur.

En émettant la raie de translation retour depuis le sol, en la faisant recevoir par la face avant et en l'appliquant à des mélangeurs retour situés après le regroupement avant, ou après le couplage retard si la raie subit aussi ce couplage retard ou un déphasage équivalent, on reproduit la

configuration exactement réciproque de l'aller. Si on utilise une référence de translation, on la placera au voisinage de la bande de la mission de façon à n'avoir aucune modification pour le satellite prisme 1 par rapport au dispositif aller, car la référence peut utiliser les éléments rayonnants et le regroupement avant de la mission, et même les lignes à retard, les mélangeurs retours étant alors placés au même endroit que ceux de l'aller.

Si la référence ou la raie de translation sont hors bande, il faut alors prévoir un ensemble regroupement /rayonneur avant spécifique. Ce dernier pourra être à faible taux de remplissage comme pour l'arrière, mais le risque plus grand d'une émission parasite sur un lobe de sous-réseau devra être compensé par un bon niveau d'émission sol. Comme pour l'aller on peut avoir intérêt dans un satellite prisme 1 à fonction interne multi-faisceaux à placer le mélange retour après les couplages retard (il faut alors que la raie subisse le retard également). Cette solution de foyer sol introduit un résidu supplémentaire de déformées vu à la fréquence F et fonction de l'écart du foyer retour au point sol d'auto-compensation du satellite prisme 1. Pour de fortes amplifications d'écart (F/f grand) les contraintes sur le positionnement des 2 satellites et du foyer sol deviennent importantes si l'on veut garder la fonction d'auto-compensation du satellite prisme 1. La solution consiste à asservir l'attitude du satellite prisme 1 de façon à maintenir les axes de visée des deux foyers sur un cône orthogonal au prisme et à ajuster la déviation (au niveau des couplages de retard en utilisant un déphaseur par couplage) à l'angle formé par les deux axes, ce qui en même temps assure le contrôle de la position au sol du ou des faisceaux. Le résidu ajouté résulte alors uniquement de la précision d'attitude. La contrainte d'attitude reste forte ($0,05^\circ$) si l'on veut conserver intacte (résidu en 0,11 au lieu de 0,1) l'auto-compensation mais se relâche ($0,25^\circ$) si la mission n'est qu'à couverture régional ou bien ($0,5^\circ$ si l'on admet une auto-compensation moindre (résidu de 0,2, soit déformées relâchées de 5 au lieu de 10)). Cette solution avec foyer sol est d'un emploi difficile avec satellite défilant quand F/f est grand. L'auto-compensation avec F/f grand impose une géométrie liant le satellite prisme 1 et la position des deux foyers, par contre le foyer retour n'a pas besoin d'être au centre du faisceau dont la position au sol

dépend de la déviation qui constitue une géométrie distincte et variable (cas balayage faisceau ou multi-faisceaux) de la géométrie d'auto-compensation. Il peut y être ramené virtuellement par déphasage dans les fonctions de couplages retard. Cette virtualisation s'applique à tous les faisceaux d'un satellite prisme 1 à fonction interne multi-faisceaux (un seul foyer retour physique). Si l'on met de côté l'aspect des déformées ou si F/f est petit, cette solution n'est pas réservée au cas du géostationnaire, car l'asservissement mentionné permet de commuter de foyer pour un satellite à défilement.

- 10 Grâce à l'utilisation d'une raie pivot F' dépourvue de carte de phase et donc engendrée au sein du satellite prisme 1, le mélange retour $f+F'-F$ après le couplage retard retour ou avant à condition de faire subir le couplage retard à la raie F ou un déphasage équivalent, donne à la fréquence $f+F$ la bonne carte de phase si $F'=2F$. Cette approche
- 15 correspond à créer virtuellement un émetteur foyer retour exactement au point d'auto-compensation. Cette solution présente l'inconvénient de nécessiter d'acheminer d'un panneau à l'autre la raie F' et d'introduire une liaison entre panneaux. Par contre cette raie ne requiert pas de précaution particulière en terme de stabilité, la solution est transparente vis à vis de
- 20 l'auto-compensation (quelque soit F/f) et n'induit pas de contrainte d'attitude ; de plus cette solution s'applique à tout type d'orbite. Si la raie de translation est transmise en référence, le mélange est alors fait avec une référence du pivot de fréquence double de la référence de translation et le résultat est multiplié par les mêmes moyens que ceux utilisés pour faire la
- 25 raie de translation aller. Le dispositif retour ne nécessite que l'acheminement de cette référence pivot à tous les panneaux. Notons que le seul inconvénient de cette solution disparaît en cas d'implantation de la fonction de mesure de l'attitude du satellite prisme 1 à partir du signal d'illumination (voir §1.5), fonction qui nécessite déjà l'acheminement d'un
- 30 signal aux quatre coins du satellite prisme 1.

On peut utiliser un satellite foyer retour en opposition du foyer aller par rapport au satellite prisme 1. Dans ce cas, le mélange est appliqué après le couplage retour, ou bien avant à condition de faire subir à la raie le

couplage retard ou un déphasage équivalent. Par rapport à la solution à foyer sol, l'intérêt principal est de supprimer la contrainte de contrôle d'attitude (induite par l'auto-compensation des déformées avec F/f grand), cette dernière est remplacée par une contrainte d'écart angulaire maximal des trois satellites sur l'orbite, contrainte qui n'exclue plus les orbites défilantes mais nécessite une altitude de préférence élevée, ce qui est conforme au fait qu'en télécom on ne peut bénéficier du débattement mission de $\pm 10^\circ$ compatible avec l'auto-compensation qu'avec un minimum d'altitude. D'autres intérêts se trouvent dans le fait que l'on peut utiliser la même raie (ou les mêmes dispositifs de multiplication s'il s'agit d'une référence) que celle utilisée à l'aller alors que cela peut devenir impossible sur un plan réglementaire en émission sol, ou que l'on peut continuer à ne pas se soucier des lobes de réseaux résultant d'un faible taux de remplissage avant vis à vis de la réception de la raie retour. Pour une mission retour uniquement il n'y a plus de contrainte d'écart angulaire des 2 foyers (le foyer aller n'émet d'ailleurs pas dans ce cas).

Les rapports d'amplification d'écart ne sont pas identiques pour les deux trajets si la fréquence de translation est unique : $(F+f_{\text{aller}})/f_{\text{aller}}$ différent de $(F+f_{\text{retour}})/f_{\text{retour}}$. Ceci se traduit par un décalage des faisceaux aller et retour au sein du motif formé par les illuminateurs. L'erreur relative est de $\Delta f/f * F/(F+f)$, qui peut être très grande si F est négatif. Dans la plupart des cas on a F positif et même F/f grand afin d'obtenir de l'amplification, l'erreur relative est de l'ordre de $\Delta f/f$. En bande L $\Delta f/f$ peut être voisin de 10%, et engendrer un écart de 0,1 degrés non négligeable pour un motif s'étendant sur $\pm 1^\circ$. Le moyen de s'affranchir de ce problème dans tous les cas est d'émettre (ou de reconstituer dans le satellite prisme 1) deux fréquences de translation F_{aller} et F_{retour} décalées dans le même rapport que f_{aller} et f_{retour} . Le décalage fréquentiel entre les deux trajets d'illumination n'est plus alors le même que pour la mission, c'est le rapport fréquentiel qui est conservé.

2.6 Contrôle de la distance intersatellite

2.6.1 CAS RADAR

Dans le cas radar, la réception de l'écho doit se faire en dehors des
 5 émissions. Cette condition de chronogramme doit être ici vérifiée à la fois
 au niveau de l'antenne et au niveau de l'illuminateur.

Le respect de la condition de base avec un radar standard met en
 jeu des ajustements de PRF en fonction de l'évolution de la distance D de la
 cible sol.

10 L'écho reçu d'une impulsion émise à l'instant t , s'étale en réception
 à partir de $t + 2D/C$ et sur une durée $2F \sin(i)/C + \tau$, F étant la fauchée et τ la
 durée de l'impulsion.

Si une évolution de distance dans un sens amène l'écho à proximité
 du début (ou la fin) d'une impulsion qui est émise à $t + k/PRF$ (dite de rang
 15 k), en modifiant la PRF on peut faire passer cette impulsion de l'autre côté
 de l'écho de façon à continuer à faire varier la distance, jusqu'à ce que l'on
 rencontre l'impulsion voisine qui aura été justement rapprochée par
 l'opération précédente et que l'on pourra éloigner avec un saut de PRF
 inverse avant de se retrouver dans la configuration du départ à la même
 20 PRF mais avec l'impulsion voisine. Cette plage de PRF est faible ($\pm 1\%$)
 compte tenu de la grande valeur de D et vaut $\delta PRF/PRF = (F \sin(i) + \tau C)/D$

Si l'illuminateur est situé à une distance d'ambiguïté, c'est à dire
 une distance d telle que $2d/C = k'/PRF$, il verra la même situation de
 chronogramme mais l'impulsion gênante sera située à un rang $k+k'$.

25 Si l'illuminateur s'éloigne du satellite prisme 1 de $\pm \delta d$ par rapport
 à la distance d'ambiguïté, la position de l'écho s'éloignera de $\pm 2\delta d/C$ de
 l'impulsion de rang $k+k'$. Il n'y aura aucun problème au niveau de
 l'illuminateur si dans l'asservissement de chronogramme au niveau du
 satellite prisme 1 on considère que l'écho est élargi de chaque côté par la
 30 valeur $2\delta d/C$ ou que la fauchée est virtuellement (ceci uniquement du point
 de vue du chronogramme) élargie de chaque côté de $\delta d / \sin(i)$.

Il est souhaitable que la gamme relative d'asservissement PRF ne soit pas accrue de plus d'un facteur 2 à haute incidence où les ambiguïtés contraignent la PRF. On doit donc vérifier $2 \delta d < F \sin(i) + \tau C$. La contrainte maximum est à haute résolution et petite fauchée (par exemple 10 km à 60° d'incidence) et conduit à une gamme d'asservissement de la distance de l'ordre de 10 km (+/- 5km). On peut considérer qu'il s'agit là d'un cas extrême d'exigence.

La distance nominale varie avec la longueur L (efficace) de l'antenne Radar et vaut : $k' C L / 4 V_{\text{sat}} = 20 k' \text{ km}$ pour 2m de longueur et 1m de résolution. A haute résolution on dispose d'une flexibilité (ex 60 km ou 120 km pour 3 m de résolution), par contre à basse résolution le choix est plus restreint (ex : 140 km pour 7 m type Radarsat)

2.6.2 CAS GENERAL

15

Les variations de distance se retrouvent sur le niveau d'entrée des signaux dans l'antenne satellite prisme 1 : +/- 5 km à 100 km induit +/- 0,4 dB que l'on retrouve sur la puissance mission. Si cela pose problème, on peut envisager une CAG dans le satellite prisme 1 mais le plus simple est d'asservir le niveau d'émission de l'illuminateur puisque la distance lui est connue (puisqu'il recueille toutes les données de servitude du satellite prisme 1).

20

2.7. COMBINAISONS AVEC PLUSIEURS PRISMES.

25

2.7.1. ILLUMINATEURS COMMUNS AUX DEUX PRISMES.

Les illuminateurs peuvent être communs à plusieurs satellites prismes. Si les prismes sont situés du même côté par rapport aux illuminateurs le long de l'orbite, il convient de les décaler sur une même orbite, ou bien sur des orbites ayant des écarts d'élipticité et/ou de plan d'orbite afin d'assurer à la fois la non collision et l'absence de masquage de par l'autre de la vue des illuminateurs.

30

La solution du décalage d'anomalie sur la même orbite présente l'inconvénient de dilater ou comprimer la géométrie relative de vue des illuminateurs en raison des différences des distances, ce qui peut être préjudiciable pour les cas où plusieurs prismes concourent à une même mission avec des faisceaux au sol identiques, en particulier dans le cas où un prisme assure l'émission vers le sol, l'autre la réception.

Il est possible de doubler le ou la combinaison de prisme en les mettant de part et d'autre des mêmes illuminateurs travaillant le long des deux directions sur l'orbite, avec dans ce cas un simple décalage le long de l'orbite ou du « torron » d'orbites.

Pour les prismes situés de part et d'autre de mêmes illuminateurs et devant viser des empreintes de faisceaux identiques au sol, à partir d'une même configuration d'illuminateurs multiples, il est nécessaire d'inverser la fonction de transformation d'écart sur l'un des prismes, car sinon les écarts au sol sont inversés.

Ceci est obtenu en passant de $F+f$ à f non pas par un mélange « signal arrière ($F+f$) – référence F » mais par un mélange « référence ($2f+F$) – signal arrière ($F+f$). les fonctions d'auto-compensation des déformées sont conservées, l'écart est multiplié par la rapport $-(F+f)/f$.

2.7.2. CHAQUE PRISME PORTE L'ILLUMINATEUR DE L'AUTRE PRISME

Certaines missions de télécommunication mettent en œuvre en plus du double trajet mission, un double trajet de connexion vers un ou plusieurs points sol où peuvent être fait les brassages entre faisceaux missions s'ils ne peuvent être fait à bord (dans le ou les illuminateurs dans le cas du prisme) et/ou peuvent se concentrer les accès avec le réseau terrestre (cas télécommunication mobile ou multimedia). Dans ce cas, les illuminateurs supportent la liaison double trajet de connexion au sol. Lorsque la mission utilise plusieurs prismes, une autre approche consiste à faire porter les illuminateurs d'un prisme par un autre prisme et vice versa. Les illuminateurs multiples peuvent être disposés sur le pourtour de l'antenne

prisme ou encore plus facilement au dos, peu rempli on l'a vu, quand il s'agit de prismes opposés par rapport aux illuminateurs.

3 ILLUSTRATION EN TELECOM MULTI-FAISCEAUX

5 GEOSTATIONNAIRE : 400 FAISCEAUX BANDE L DE 400KM

3.1 Réalisation de la mosaïque

Ainsi que l'illustre la figure 4, dans une mosaïque multi-faisceaux
10 d'une mission télécom standard, généralement 4 faisceaux voisins (situés aux 4 sommets d'un losange) utilisent 4 sous-bande distinctes de la bande de la mission et ensuite ce motif est répété en réutilisation de fréquence pour former la mosaïque.

Le motif de base peut être constitué par 4 illuminateurs vus du
15 satellite prisme 1 suivant la même figure de losange. Au titre d'une fonction classique d'antenne active multi-faisceaux, le satellite prisme 1 répète ensuite ce motif. La fonction multi-faisceaux d'une antenne active met en œuvre pour chaque faisceau un réseau de formation de faisceaux (BFN en anglais), c'est à dire un regroupement éclatement avant (voir § 2.1)
20 conduisant à une carte de phase spécifique du faisceau. Au-delà des avantages déjà signalés l'intérêt du satellite prisme 1 est de réduire par 4 le nombre de BFN.

Tant que l'écart angulaire entre centres de faisceaux reste dans la limite induite par l'échantillonnage (2° crête à crête pour un
25 échantillonnage $10 \lambda * 7 \lambda$) on peut élargir le motif de base avec des faisceaux et des illuminateurs réutilisant des sous-bandes, le facteur de réduction sur le nombre de faisceaux à réaliser par le satellite prisme 1 peut ainsi être supérieur à 4. Il faut malgré tout incorporer un nombre entier de losanges dans le motif.

30 En valorisant l'intérêt premier du satellite prisme 1 pour la grande antenne, par exemple en bande L avec une dimension effective 20m (28 m réel en est-ouest compte tenu de l'inclinaison à 45°), on dispose alors d'un

faisceau de $0,6^\circ$ d'ouverture. Un motif de 16 faisceaux (voir ci dessus) est possible en adaptant la maille à 6 (au lieu de 10) λ * 8 (au lieu de 7) λ afin d'être compatible des amplitudes d'écart de 3° (au lieu de 2°) et $1,8^\circ$ (au lieu de 2°). Pour une mission couvrant toute la terre depuis l'orbite géostationnaire, ce motif doit être répété environ 25 fois.

3.2 Architecture du satellite prisme

La translation de fréquence est employée, elle ne constitue nullement une complication dans ce cas d'application car la fonction multi-faisceaux d'un satellite prisme 1 nécessite que chacun des faisceaux soit illuminé par une fréquence distincte avec ensuite une translation propre à chaque faisceau pour ramener tous les faisceaux à la même fréquence, ensuite le signal de chaque faisceau rentre dans son BFN propre. La raie de translation doit être ici un peigne de 25 raies (pour la mission mondiale ci dessus de 400 faisceaux au total avec 16 illuminateurs), chacune alimentant un mélangeur. Il peut être alors plus simple dans certains cas de n'émettre qu'une raie et de reconstituer les autres au niveau de chaque pavé.

Chaque illuminateur émet un multiplex fréquentiel de 25 signaux j avec des décalages de sous-bandes entre les multiplex correspondant à des faisceaux du motif devant utiliser des sous-bandes distinctes. Un seul illuminateur émet la raie (ou le peigne) de translation.

A l'intérieur d'un motif, la variation de l'écart entre faisceaux due au fait que les différents illuminateurs ne travaillent pas dans la même sous-bande est faible et peut être de toute façon compensé à la construction au niveau de la géométrie inter-illuminateurs. D'un motif à l'autre les écarts internes varient car les rapports d'amplification varient (en $(F_j + f)/f$), le motif se dilate ou se rétracte. Ceci peut être pris en compte dans la fonction multi-faisceaux du satellite prisme 1 en adaptant la largeur du faisceau de façon à maintenir la juxtaposition, cette adaptation est de toute façon nécessaire pour d'autres raisons (variation de l'incidence au sol, de la taille effective de

l'antenne dans la direction visée). On notera également que l'écart relatif angulaire est borné par $\Delta F/F$ à priori peu différent de $\Delta f/f$ quand le rapport d'amplification d'écart est grand, car ici $\Delta F = 25 \Delta f$ et $F/f =$ rapport d'amplification voisin de 20. Avec un $\Delta f/f$ de quelque % l'erreur n'est que de 5 quelques centièmes de degrés.

Le différentiel d'écart entre l'aller et le retour peut être important, comme indiqué au paragraphe 1.6 l'adoption d'un rapport constant F_j aller/ F_j retour égal au rapport f aller/ f retour règle le problème au prix ici d'un léger accroissement de l'occupation spectrale totale pour la liaison 10 illumination qui devra être de $25 (1 + \max (f \text{ aller}/f \text{ retour}, f \text{ retour}/f \text{ aller})) \Delta f$ au lieu de $2 \cdot 25 \cdot \Delta f$.

Globalement cette application multi-faisceaux tire bénéfice du fait que l'illumination gagne à être faite à très haute fréquence pour d'une part réduire l'écart inter-illuminateur, et d'autre part disposer, moyennant une 15 bande relative similaire à celle de la mission, d'une largeur de bande absolue permettant l'étagement d'un grand nombre de faisceaux. Ceci est aussi en cohérence avec le fait que les bandes attribuées aux liaisons inter-satellites sont hautes et larges, même si, comme déjà signalé, la spécificité de la géométrie et des niveaux permet d'envisager de travailler dans des 20 bandes non attribuées à cet effet.

Pour l'illustration considérée en bande L à 1,5 GHz à l'aller et 1,6 GHz au retour avec 20 Mhz de bande, l'occupation spectrale en illumination avec 25 canaux est de 500 MHz à l'aller et de 500 Mhz au retour (ou de 530 Mhz si on veut vérifier un F_j aller/ F_j retour constant mais ceci ne semble pas 25 nécessaire). En prenant 32,25 GHz comme fréquence centrale de l'illumination retour et 32,75 GHz pour celle du retour, les rapports d'amplification sont de 21,5 à l'aller et de 20,5 au retour, ce qui n'engendre qu'une erreur maximum de 7,5 centièmes de degré sur la grande dimension $\pm 1,5^\circ$ du motif. Le tout rentre ainsi dans la bande attribuée 32-33 Ghz 30 pour les liaisons intersatellite.

Le satellite illuminateur dispose de 16 antennes sur une structure lacunaire reproduisant le motif dont l'envergure fait 12 mètres dans un sens

et 7 mètres dans l'autre à une distance de 5 km, respectivement 2,4 m par 1,4 m si la distance peut être réduite à 1 km. La deuxième option est bien sur préférable du point de vue du satellite, la première l'étant du point de vue de la navigation car la précision de distance relative doit être de l'ordre

5 de 5% pour ne pas créer un déplacement du faisceau extrême du motif de plus de 7 centièmes de degrés (12% de l'ouverture de l'ouverture élémentaire). On peut noter que la structure d'un satellite éloigné à 5 km n'a pas d'exigence de maîtrise dimensionnelle, une précision de 5% pour l'écart inter-illuminateur étant suffisante (soit 10 cm). On notera également qu'il

10 existe d'autres bandes intersatellite encore plus hautes permettant d'augmenter encore l'amplification et de réduire l'écart inter-illuminateur.

Une telle mission offrant 400 faisceaux de 400 km d'empreinte sol et requérant une taille effective d'antenne de 20 mètres est difficilement réalisable aujourd'hui dans l'approche classique puisqu'il faudrait disposer

15 de 400 BFN dans une grande antenne dont la maîtrise dimensionnelle serait requise à $\lambda/20$.

3.3 Mission réduite avec 100 faisceaux

20 Si l'on ne vise que la couverture terrestre ou certaines régions du monde, le nombre de faisceaux peut être restreint. Pour une réduction d'un facteur 4, on peut alors choisir de garder la même contrainte multi-faisceaux au niveau du satellite prisme 1 (25 faisceaux) et n'avoir que 4 illuminateurs. L'amplitude d'écart n'est alors que de $0,6^\circ$ et 1° et la maille n'est plus

25 contrainte par l'écart mais par la fonction de compensation des déformations. Aussi il vaut mieux gagner un facteur 2 à chaque niveau, avec 8 illuminateurs et 12 faisceaux dans le satellite prisme 1, l'amplitude est alors de 2° et $1,2^\circ$ et correspond à une maille à peu près carrée de 4 m^2 (11λ selon P_y et 10λ selon P_z) et des envergures de l'illuminateur

30 situé à 5 km de 8 m par 5m. Ce dernier dispose de 4 bras de 4 et 2,5 m dépliables avec une antenne au bout et ne pose aucun problème de réalisation, y compris avec un mini-satellite.

3.4 Cas avec satellites illuminateurs distincts

D'autres applications du satellite prisme 1 peuvent conduire à des
 5 satellites illuminateurs 2 distincts. La mise en œuvre du motif reste possible
 en faisant faire à chaque illuminateur une roue apparente vue du satellite
 prisme 1. Cela est obtenu par une combinaison d'écart d'inclinaison et
 d'excentricité par rapport à l'orbite du satellite prisme 1. Pour cette
 approche il est préférable de rechercher un certain éloignement (100 km)
 10 pour gagner en précision relative de navigation. Le motif tourne sur lui-
 même en 24 H, il est nécessaire d'accompagner ce mouvement en faisant
 tourner l'ensemble de la mosaïque au niveau de la fonction multi-faisceaux
 du satellite prisme 1, ce qui peut constituer une contrainte si cette fonction
 n'a pas besoin d'être variable par ailleurs.

15

4. PRISME ET INTERFEROMETRIE VLBI LE LONG DE LA TRACE

4.1. INTRODUCTION ET PRINCIPE

20 Il est bien connu que les problèmes de taille d'antenne limitent la
 résolution en imagerie micro-onde passive, et ce d'autant plus que les
 applications d'imagerie de surface (hydrologie, biomasse, salinité)
 demandent des fréquences basses.

L'utilisation du concept de prisme se justifie déjà par ses capacités
 25 premières de grande antenne, mais la géométrie de deux satellites se
 suivant permet aussi l'emploi de la technique VLBI (interférométrie à large
 bande) pour obtenir la résolution dans la dimension le long de la trace (le
 long de la projection sol de l'orbite) et ramener ainsi la contrainte de taille
 d'antenne dans la seule dimension qui permet d'obtenir une résolution
 30 transversale. Enfin, on a ici une application très simplifiée du prisme car il
 n'y a pas besoin de ligne à retard pour la déviation, seulement des
 déphaseurs.

Selon le principe VLBI, l'intercorrélacion complexe (avec intégration et détection en I et Q) du signal reçu par le prisme avec celui reçu directement par l'illuminateur réalise une discrimination des directions de visée suivant l'angle d'ouverture $90-\beta_0$ d'un cône situé autour de l'axe prisme illuminateur.

Le module de l'intercorrélacion ($\sqrt{I^2 + Q^2}$) fournit une fonction angulaire β dont la réponse angulaire autour de β_0 est donnée par : $\delta\beta$ C/BD. La fonction angulaire est :

$$|\text{SINC}(\pi B D (\sin(\beta) - \sin(\beta_0))/C)| \text{ avec}$$

10 B : largeur de bande,

D = distance entre illuminateur et prisme,

$90-\beta_0$ = angle de la visée avec l'axe prisme illuminateur

$\tau_0 = D \sin(\beta_0)/C$ = retard appliqué à l'une des voies de réception pour ajuster la focalisation sur β_0 .

15 En limitant la gamme de valeur β_0 l'intersection du cône avec la terre crée des lignes globalement transversales à la trace. La géométrie du prisme doit être telle que sa dimension longue projetée le long de la visée soit également à forte composante transversale, conférant un faisceau dont l'empreinte est à forte composante le long de la trace croisant avec un
20 angle important la ligne à isomesure VLBI.

L'imagerie le long de la trace est obtenue par le déplacement des satellites, l'imagerie transversale est obtenue par le balayage du faisceau du prisme transversalement à la trace. Lors du déplacement de satellite on peut renouveler plusieurs visées sur le même point grâce à plusieurs
25 valeurs β_0 ceci dans un but d'accès à plusieurs incidences ou pour améliorer la résolution radiométrique.

4.2. AVEC UN PRISME DE TYPE VOILE

30 La configuration de prisme type VOILE est parfaitement adaptée pour une antenne allongée sur une seule dimension que l'on choisira donc verticale. La configuration VOILE de par sa tolérance aux lobes de réseau

permet de rendre l'antenne lacunaire dans sa grande dimension dans un rapport 5 (espacement $2,5\lambda$ d'éléments de taille $0,5\lambda$). La visée de chaque côté de la trace est possible au prix d'un deuxième satellite illuminateur situé de l'autre côté par rapport au prisme le long de l'orbite et sans
5 quasiment rien changer au niveau du prisme.

La figure 5 représente la géométrie de la prise d'image en registration VLBI, en se plaçant au nadir au dessus du prisme. On a porté sur cette figure la registration en diagramme d'élévation (flèche Re).

Avec un signal de translation issu des illuminateurs, un réglage de
10 la géométrie peut être obtenu avec $\theta' = 45^\circ \pm 10^\circ$ et $\alpha = 58^\circ$. On peut aussi utiliser une translation interne au prisme, mais de faible valeur ($F+f/f$ proche de 1) afin de conserver ce type de géométrie très approprié.

4.3. AVEC UN PRISME ALLONGE SELON L'AXE TANGAGE

15

En prenant $\alpha=0$, le cône de visée d'autocompensation incliné de 0 rencontre la terre selon une ligne courbe qui coupe orthogonalement la trace du satellite. Avec $\theta = 45^\circ$, et avec une fréquence de translation émise de l'illuminateur ou bien interne de faible valeur, l'ouverture du cône est de
20 45° et le point de coupure est à la verticale du satellite. Un cône un peu plus incliné et donc plus ouvert permet de répartir cette ligne courbe d'autocompensation de part et d'autre de la verticale dans la direction de la vitesse et de la rendre plus globalement transversale sur l'ensemble de sa longueur.

25

Avec un prisme allongé transversalement, l'empreinte au sol du faisceau est allongée le long de la trace, le balayage déplace cette empreinte transversalement. L'autre dimension du prisme étant réduite, la ligne d'autocompensation reste malgré sa courbure inscrite dans l'ouverture du faisceau (la longueur de l'empreinte du faisceau) pour toute position de
30 celui-ci.

L'intérêt de cette configuration par rapport à la précédente est de permettre une grande gamme de balayage transversal et donc une grande

fauchée car le pixel image, point d'intersection d'une commande en dépointage du faisceau et en angle VLBI β_0 peut rester sur la ligne d'autocompensation qui est ici transversale à la trace, les contraintes de déformées d'antenne sont alors totalement relâchées. VLBI. En conservant
5 un relâchement de facteur 10, on dispose d'une gamme de $\pm 10\%$ pour faire des visées multiples en VLBI (qui elles s'écartent de la visée d'autocompensation). L'avantage par contre de la configuration précédente est son aspect lacunaire (tolérance aux lobes de réseau) que l'on ne retrouve pas ici.

REVENDEICATIONS

1. Système comportant une antenne radio-fréquence placée sur une orbite autour de la terre, ainsi que des moyens illuminateurs d'émission et/ou de réception également en orbite autour de la terre, l'antenne se trouvant dans le champ d'illumination desdits moyens, caractérisé en ce que l'antenne et les moyens illuminateurs sont sensiblement sur la même orbite et en ce que l'antenne est apte à dévier les signaux radio-fréquence correspondant à un ou plusieurs canaux émis par les moyens illuminateurs pour les renvoyer vers la terre selon un ou plusieurs faisceaux et/ou à dévier les signaux radio-fréquence correspondant à un ou plusieurs faisceaux émis de la terre pour les renvoyer vers les moyens illuminateurs selon un ou plusieurs canaux.

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens illuminateurs sont portés par au moins un satellite distinct du satellite qui porte l'antenne et sensiblement sur la même orbite.

3. Système selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'antenne radiofréquence est sensiblement plane, les signaux transitant d'une face à l'autre de ladite antenne et en ce que, pour au moins un canal et un sens de trajet, il correspond, à une direction d'illumination selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne, un cône de visées dites d'autocompensation vers et depuis la terre définies par une incidence commune sur le plan de l'antenne, dite incidence d'autocompensation (l'incidence d'une direction étant l'angle que fait cette direction avec la normale au plan de l'antenne), les visées d'autocompensation étant telles que les déformées de l'antenne transversalement au plan général de l'antenne et les erreurs d'attitude de l'antenne autour de tout axe contenu dans ledit plan sont sensiblement sans effet sur ces mêmes signaux déviés vers ou depuis cette visée d'autocompensation et d'effet réduit dans les directions de visée voisines.

4. Système selon les revendications précédentes, caractérisé en ce que l'antenne est formée d'un maillage de pavés et en ce que chaque pavé comporte au moins une portion centrale, unique pour un canal donné et un

sens de trajet, reliée par des moyens de regroupement et/ou éclatement d'une part en amont sur le trajet à au moins un point de réception des signaux et d'autre part en aval à au moins un point d'émission des signaux et en ce que des moyens pour appliquer les déphasages et ou retard entre
5 les points d'émission et de réception afin d'assurer la déviation sont appliqués sur la portion centrale pour ce qui concerne le retard et le déphasage commun et sur les branches pour ce qui concerne le retard et ou déphasage différentiel.

5. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comporte
10 des moyens permettant de faire varier les déphasages et/ou retards appliqués sur les différents trajets.

6. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'au moins une partie des moyens de liaison entre le ou les points de réception et le ou les points d'émission est commune à différents canaux et en ce que des
15 moyens permettant de discriminer ces différents canaux sont disposés au niveau d'au moins une jonction entre une portion de trajet commun et des portions de trajets spécifiques:

7. Système selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'antenne comporte des moyens pour translater la fréquence des
20 signaux lors de leur déviation, pour au moins un canal et un trajet.

8. Système selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que pour au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent la même fréquence avant et après l'antenne.

9. Système selon les revendications 3 et 8 prises en combinaison,
25 caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, l'incidence d'autocompensation est égale à l'incidence de la direction d'illumination.

10. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que, pour au
30 moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence distincte avant et après l'antenne et en ce que la fréquence de translation utilisée n'est pas issue de signaux reçus sur une des faces du pavé.

11. Système selon les revendications 3 et 10 en combinaison, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, le cosinus de l'incidence de la visée d'autocompensation et le cosinus de l'incidence de la direction d'illumination sont sensiblement dans le rapport des fréquences centrales du canal côté illumination et côté terre.

12. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que selon au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence distincte avant et après l'antenne et en ce que la fréquence de translation est issue d'un signal de translation dit externe reçu par une face du pavé.

13. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que selon au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence distincte avant et après l'antenne et en ce que la translation de fréquence résulte ou est équivalente à deux translations consécutives, dont une qui est dite externe et dont la fréquence de translation, appelée F_e , est issue d'un signal de translation externe reçu par une face du pavé et dont l'autre qui est dite interne et qui est de fréquence de translation F_i , est sans référence à un signal reçu par l'une ou l'autre des faces du pavé.

14. Système selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens illuminateurs comportent une pluralité de sous-ensembles illuminateurs et en ce que différents signaux d'un même canal émis vers la pluralité des sous-ensembles illuminateurs ou issus de celle-ci se répartissent entre la terre et l'antenne selon une pluralité de faisceaux d'émission et/ou de réception dont la géométrie angulaire vue de l'antenne correspond sensiblement à la géométrie angulaire relative selon laquelle sont vus depuis l'antenne les différents sous-ensembles illuminant ce canal, cette géométrie étant le cas échéant modifiée par une anisotropie.

15. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens illuminateurs comportent une pluralité de sous-ensembles illuminateurs et en ce que, pour un canal donné pour lequel l'antenne met en œuvre une translation de fréquence, les différents signaux émis vers la pluralité des sous-ensembles illuminateurs ou issus de celle-ci se

répartissent selon une pluralité de faisceaux d'émission et/ou de réception vers la terre dont la géométrie angulaire vue de l'antenne correspond sensiblement à la géométrie angulaire relative selon laquelle sont vus depuis l'antenne les différents sous-ensembles illuminant ce canal, après
5 multiplication de tous les écarts angulaires par le rapport des fréquences centrales du canal côté illuminateur et côté terre, cette géométrie étant le cas échéant modifiée par une anisotropie.

16. Système selon les revendications 12 ou 13, éventuellement prises en combinaison avec la revendication 15, caractérisé en ce que le
10 signal de translation externe utilisé selon au moins un canal est émis par les moyens illuminateurs et reçu par la face de l'antenne qui est du côté de l'illumination, et en ce que dans le cas où les moyens illuminateurs sont répartis en sous-ensembles illuminateurs, émis par un sous-ensemble appelé foyer, éventuellement limité à cette fonction.

15 17. Système selon les revendications 3 et 16, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs émettent des signaux vers l'antenne tout en émettant le signal de translation externe, le cosinus de l'incidence d'autocompensation et le cosinus de l'incidence de la direction d'illumination
20 sont sensiblement dans le rapport $(f + F - F_e) / f$ où f est la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe, et F est la totalité de la translation de fréquence, et en ce que dans le cas où les moyens d'illumination sont répartis en sous-ensembles, l'écart d'incidence entre l'illumination considérée et le foyer est sensiblement reproduit dans l'écart
25 entre les incidences d'autocompensation de l'illumination et celles qui correspondraient au foyer, moyennant les termes multiplicatifs $(f+F/f)$ et $(\sin(\phi_2)/\sin(\phi_1))$ où ϕ_1 est l'angle d'incidence d'illumination du foyer et ϕ_2 l'angle d'incidence d'autocompensation qui en résulterait si le foyer émettait.

18. Système selon la revendication 17, caractérisé en ce que F_e et F
30 sont de même signe, c'est à dire portent sur des changements de fréquence de même sens.

19. Système selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce qu'un signal de translation externe utilisé selon au moins un canal à la

réception est reçu par la face du pavé selon laquelle se fait la réception et est émis d'un point sol appelé foyer sol.

20. Système selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce qu'un signal de translation externe utilisé selon au moins un canal à la
5 réception est reçu par la face du pavé selon laquelle se fait la réception et est émis par au moins un satellite sensiblement sur la même orbite que l'antenne et les moyens illuminateurs, ce satellite étant disposé par rapport à l'antenne du côté opposé aux moyens illuminateurs, les moyens d'émission du signal étant appelés foyer opposé.

10 21. Système selon la revendication 3 prise en combinaison avec l'une des revendications 19 ou 20, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, l'angle de l'incidence d'autocompensation est sensiblement égal à $\phi_2 + (\cos(\phi_2) (f + F_e) - \cos(\phi_1) (F + f)) / \sin(\phi_2) f$ où ϕ_1 et
15 ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et celui du signal de translation externe, f la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe, et F est la totalité de la translation de fréquence,.

22. Système selon la revendication 21, caractérisé en ce que F_e et F sont de même signe, c'est à dire portent sur des changements de fréquence
20 de même sens.

23. Système selon les revendications 12, 18, 19 et 22 prises en combinaison, caractérisé en ce que pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, la fréquence F_e est égale à la fréquence F pour les deux trajets et au moins un foyer sol est au voisinage d'une visée
25 d'autocompensation d'émission correspondant à ces moyens illuminateurs.

24. Système selon les revendications 18 et 22 prises en combinaison avec l'un des revendications 19 ou 20, caractérisé en ce que pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, l'attitude de l'antenne, ainsi que les fréquences F_i et F_e à la fois à l'émission et à la réception, sont
30 telles que les visées d'autocompensation sont identiques sur les deux trajets en dépit du non-alignement du foyer opposé avec les moyens

illuminateurs utilisés en réception, ou en dépit de l'éloignement entre le foyer sol et le centre de la zone à couvrir.

25. Système selon les revendications 3 et 16 en combinaison, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, la translation de fréquence F_e se fait à partir du signal externe reçu par la face d'illumination et l'incidence d'autocompensation est telle que $\cos(\phi_2)/\cos(\phi_1) = (f + F_e + F)/f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et l'angle de l'incidence d'autocompensation, f étant la fréquence côté terre, F_e la valeur de la translation externe, F la totalité de la translation de fréquence.

26. Système selon la revendication 25, caractérisé en ce que F_e et F sont de signes contraires, c'est à dire que la translation externe F_e est de sens opposé à la translation totale F .

27. Système selon la revendication 26, caractérisé en ce que pour au moins un canal utilisé à la réception $|F_e| = |F|$ et $F_i = 2|F|$.

28. Système selon les revendications 18 et 26 en combinaison, caractérisé en ce que, pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, $|F_e| = |F|$ et $F_i = 2|F|$ pour la réception et $F_e = F$ pour l'émission et en ce que les visées d'autocompensation sont sensiblement identiques sur les deux trajets.

29. Système selon les revendications 3 et 16 prises en combinaison, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, la translation F_e se fait à partir du signal externe reçu par la face d'illumination et est de même sens que la translation totale F , en ce que $F = F_e$ et en ce que l'incidence d'autocompensation est donnée par $\phi_2 - \phi_1 = -2 \operatorname{Ctg}(\phi_1) F/f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et l'angle de l'incidence d'autocompensation f étant la fréquence côté terre, F_e la valeur de la translation, F la totalité de la translation de fréquence.

30. Système selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'attitude de l'antenne est telle que l'écart angulaire entre l'ensemble des visées possibles et les visées d'auto-compensation soit globalement minimisé.

31. Système selon la revendication 3 prise en combinaison avec
5 l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que l'attitude et la ou les fréquences de translation F_e ou F_i sont telles que l'écart angulaire entre l'ensemble des visées possibles et les visées d'auto-compensation soit globalement minimisé.

32. Système selon les revendications 3 prise en combinaison avec
10 l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que l'attitude et la ou les fréquences de translation F_e ou F_i sont telles que les résidus d'autocompensation soient répartis sur les deux trajets.

33. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'antenne comporte des moyens pour mettre en œuvre des translations de fréquences
15 différentes sur les signaux radio-fréquence émis ou reçus selon des canaux distincts.

34. Système selon les revendications 2 et 5 prises en combinaison, caractérisé en ce que les moyens de déphasage et/ou retard sont commandés de façon à maintenir inchangé l'orientation dans le repère lié à
20 l'antenne d'un faisceau correspondant à un canal en dépit des modifications de l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'illumination utilisée par le faisceau.

35. Système selon la revendication 34 prise en combinaison avec l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que les moyens de
25 déphasage et/ou retard sont commandés de façon à maintenir inchangée l'orientation dans le repère lié à l'antenne d'une direction de faisceau éventuellement virtuel correspondant à une direction d'illumination éventuellement virtuelle repérée par rapport aux directions d'illumination d'un canal.

30 36. Système selon la revendication 35 prise en combinaison avec la revendication 4, caractérisé en ce que la direction du faisceau, éventuellement virtuel, sur lequel porte la compensation est choisie de manière à minimiser l'écart angulaire maximal entre ce faisceau et le

faisceau ou l'ensemble des faisceaux du canal et en ce que le pas, compté à la longueur d'onde de la fréquence centrale du canal côté terre, entre les points centraux utilisés par le canal est établi en fonction de cet écart angulaire maximal et du niveau tolérable des lobes de sous-réseaux
5 accompagnant le ou les faisceaux du canal.

37. Système selon la revendication 34, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour commander les moyens de déphasage et/ou de retard de façon à maintenir inchangée la direction dans le repère terrestre d'au moins un faisceau d'au moins un canal en dépit des modifications
10 d'attitude de l'antenne et des modifications qui en résultent concernant l'orientation dans le repère lié à l'antenne des directions d'illuminations.

38. Système selon la revendication 34, caractérisé en ce que le satellite qui porte l'antenne et au moins un satellite portant des moyens d'illumination comportent des moyens pour déterminer l'orientation dans le
15 repère lié à l'antenne de la direction d'illumination.

39. Système selon la revendication 34, caractérisé en ce que le satellite qui porte l'antenne et au moins un satellite portant des moyens d'illumination comportent des moyens pour déterminer l'orientation dans le repère terrestre de l'axe les joignant.

20 40. Système selon les revendications 38 et 39 prises en combinaison, caractérisé en ce que l'orientation de la direction d'illumination dans le repère lié à l'antenne est déterminé à partir de la connaissance de l'attitude de l'antenne et de l'orientation dans le repère terrestre de l'axe les joignant.

25 41. Système selon la revendication 38, caractérisé en ce que l'antenne comporte des moyens pour comparer les phases et/ou retards d'au moins un signal émis par les moyens illuminateurs et reçu en différents points de l'antenne et des moyens pour déterminer en fonction de cette comparaison l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction
30 d'arrivée du ou des signaux.

42. Système selon les revendications 39 et 41 prises en combinaison, caractérisé en ce que l'attitude en lacet et/ou tangage de l'antenne est déterminée à partir de la connaissance de l'orientation dans le

repère lié à l'antenne de la direction d'arrivée du ou des signaux et de l'orientation dans le repère terrestre de cette direction d'arrivée.

43. Système selon la revendication 39, caractérisé en ce qu'un satellite qui porte des moyens illuminateurs comporte des moyens pour se localiser ou des moyens de réception de signaux de radiolocalisation, ainsi que des moyens pour transmettre les informations de localisation ou les signaux de radiolocalisation qu'elle reçoit au satellite qui porte l'antenne, ce dernier comportant des moyens pour déterminer en fonction notamment de ces informations l'orientation dans le repère terrestre de l'axe joignant les deux satellites.

44. Système selon les revendications 35 et 41 prises en combinaison, caractérisé en ce que la direction d'illumination virtuelle repérée est celle d'un sous-ensemble illuminateur qui émet le signal de mesure, et en ce que la mesure donne directement l'information nécessaire à la compensation.

45. Système selon la revendication 15, caractérisé en ce que des sous-ensembles illuminateurs sont sur un même satellite.

46. Système selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que des sous-ensembles illuminateurs sont décalés les uns par rapport aux autres sur une orbite commune.

47. Système selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que des orbites de sous-ensembles illuminateurs présentent des écarts d'ellipticité et/ou de plan d'orbite.

48. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que sur un retard de portion centrale transite ensemble au moins un canal et la raie de translation, ou une référence qui permet de la créer, utilisée pour baisser la fréquence du ou des canaux en aval du retard, de façon à limiter les impacts des imperfections du retard sur la phase du signal dévié.

49. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'une translation descendante est réalisée sur un canal ou plusieurs canaux en amont du retard de portion centrale.

50. Système selon la revendication 49, caractérisé en ce qu'une telle translation descendante est suivie d'une translation montante après le

retard utilisant une référence n'ayant pas subie ce retard, de façon à limiter les impacts des imperfections du retard sur la phase du signal dévié.

51. Système selon la revendication 6, caractérisé en ce que le retard sur la portion centrale est commun à au moins deux canaux sur au moins un sens de trajet.

52. Système selon les revendications 6 et 7, caractérisé en ce que la translation de fréquence est réalisée, sur au moins un canal et un trajet, dans la portion centrale.

53. Système selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que, dans une application à la transmission de télécommunications, il comporte une pluralité de canaux, ainsi qu'une pluralité de sous-ensembles illuminateurs, la mosaïque des faisceaux au sol étant constituée par le motif fin généré par l'antenne du fait de la géométrie angulaire selon laquelle les sous-ensembles illuminateurs sont vus par celle-ci, répété selon un motif large qui est généré par l'antenne du fait des différents canaux.

54. Système selon les revendications 53 et 47, caractérisé en ce que les sous-ensembles illuminateurs illuminant un même canal sont vus de l'antenne suivant une géométrie angulaire relative stable à l'exception d'une rotation sur elle-même à la période orbitale et en ce que la pluralité de directions assurée par le motif large du canal précessionne grâce aux moyens de déphasage et/ou retard autour d'une direction centrale et ce en phase avec la rotation du motif fin de façon à ce que la mosaïque d'ensemble des faisceaux garde une structure stable, mise à part une rotation sur elle-même à l'échelle orbitale.

55. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'orbite des satellites est une orbite basse et en ce que l'antenne s'étend sensiblement dans un plan qui passe par le centre de la terre, en ce qu'un décalage du plan par rapport au plan d'orbite permet l'illumination sur une face, en ce que sur l'autre face au moins un des faisceaux est dépointé pour voir la terre.

56. Système selon les revendications 55 prise en combinaison avec la revendication 46, caractérisé en ce que les déphasages et les retards sont tels que le décalage des sous-ensembles illuminateurs se traduit par des

faisceaux à empreintes au sol décalées transversalement par rapport à la trace.

57. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'au moins deux satellites antenne utilisent des moyens illuminateurs communs.

5 58. Système selon la revendication 57, caractérisé en ce qu'au moins deux satellites antennes sont situés d'un même côté, le long de l'orbite, des moyens illuminateurs, et en ce qu'ils sont décalés sur la même orbite ou sont décalés en ellipticité et/ou plan d'orbite.

59. Système selon la revendication 57, caractérisé en ce qu'au moins 10 deux satellites antennes sont de part et d'autre des moyens illuminateurs.

60. Système selon l'une des revendications 57 à 59, caractérisé en ce qu'un satellite antenne porte des moyens illuminateurs destinés à un autre satellite antenne.

61. Système selon la revendication 60, caractérisé en ce qu'un 15 satellite prisme porte des moyens illuminateurs destinés à un autre satellite prisme et est illuminé par des moyens illuminateurs portés par un satellite prisme.

62. Système selon les revendications 2 et 3, caractérisé en ce que 20 l'axe normal à l'antenne est sensiblement dans le plan de l'orbite, le tangage étant tel que le cône de visée d'auto-compensation rencontre la terre selon une ligne d'auto-compensation s'étirant globalement transversalement à l'orbite et en ce que le déplacement au sol, sensiblement le long de la projection de l'orbite, de la ligne d'auto-compensation est réalisé par le déplacement du satellite et/ou par le 25 changement du tangage de l'axe d'antenne et/ou le changement de la fréquence de translation dans le cas où celle-ci est assurée au moins par un signal interne, ces trois moyens pouvant être utilisés séparément ou en combinaison.

63. Système selon la revendication 62, caractérisé en ce que le les 30 visées sol sont réparties en fauchée le long de la ligne d'auto-compensation de sorte que les contraintes de déformation de l'antenne sont très relâchées et en ce qu'une corrélation entre les deux voies d'arrivée des signaux réalise une discrimination de visée des sources de ces signaux fonction de

l'angle que la direction d'arrivée des signaux fait avec l'axe antenne/moyens illuminateurs.

64. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce que des moyens illuminateurs reçoivent directement de la terre des signaux également reçus via l'antenne et en ce qu'une corrélation entre les deux signaux réalise une discrimination de visée fonction de l'angle que la direction d'arrivée des signaux fait avec l'axe antenne/moyens illuminateurs.

65. Système selon la revendication 64, caractérisé en ce que le déplacement au sol, sensiblement le long de la projection de l'orbite, de la zone de visée discriminée par la corrélation est réalisée par le déplacement du satellite et/ou par le changement de l'angle de discrimination.

66. Système selon la revendication 65, caractérisé en ce que l'antenne présente dans une direction une dimension plus importante que dans les autres directions, ce qui assure pour au moins un faisceau l'étroitesse de l'empreinte au sol dans une direction transversale à l'orbite.

67. Système selon les revendications 65 et 66 prises en combinaison, caractérisé en ce qu'une imagerie du sol selon deux composantes croisées est obtenue en combinant la corrélation et un balayage du faisceau.

68. Système selon les revendications 63 et 67 prises en combinaison, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour réaliser les visées au sol à partir d'un balayage électronique d'un faisceau selon une commande mono-dimensionnelle et en ce que la grande dimension de l'empreinte du faisceau, qui résulte de la petite dimension de l'antenne, est le long de l'orbite et permet de recouvrir la ligne d'auto-compensation pour toutes position du faisceau, en dépit de la courbure de cette ligne et du caractère mono-dimensionnel de la commande de balayage.

69. Système selon la revendication 68, caractérisé en ce que l'antenne est allongée le long de l'axe tangage.

70. Système selon les revendications 67 et 69 prises en combinaison, caractérisé en ce que l'antenne est allongée le long de l'axe lacet.

ORIGINAL



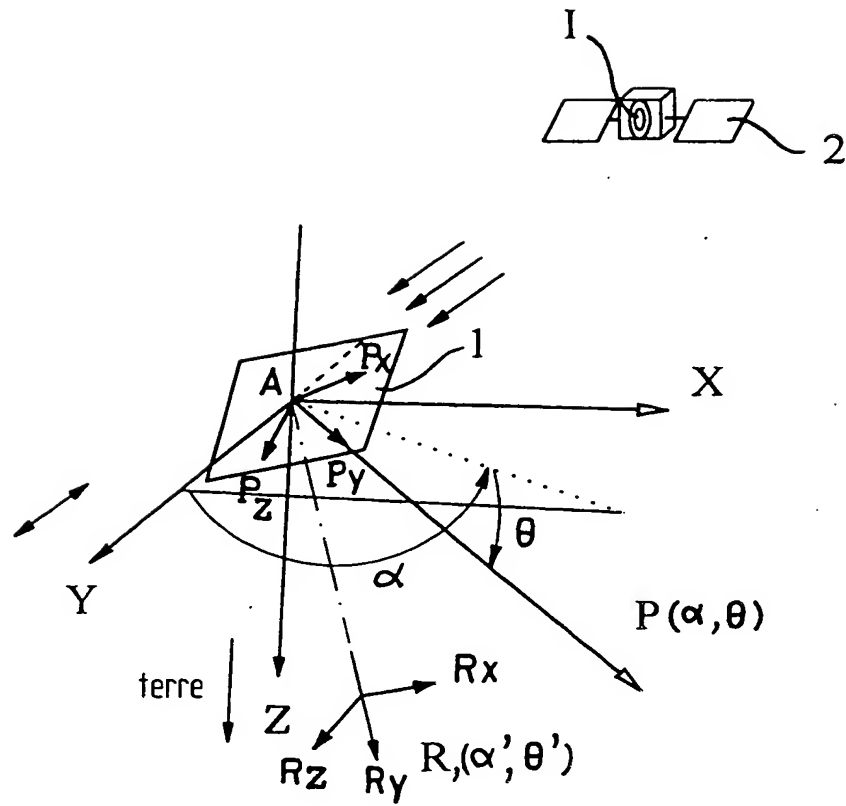


FIG.1

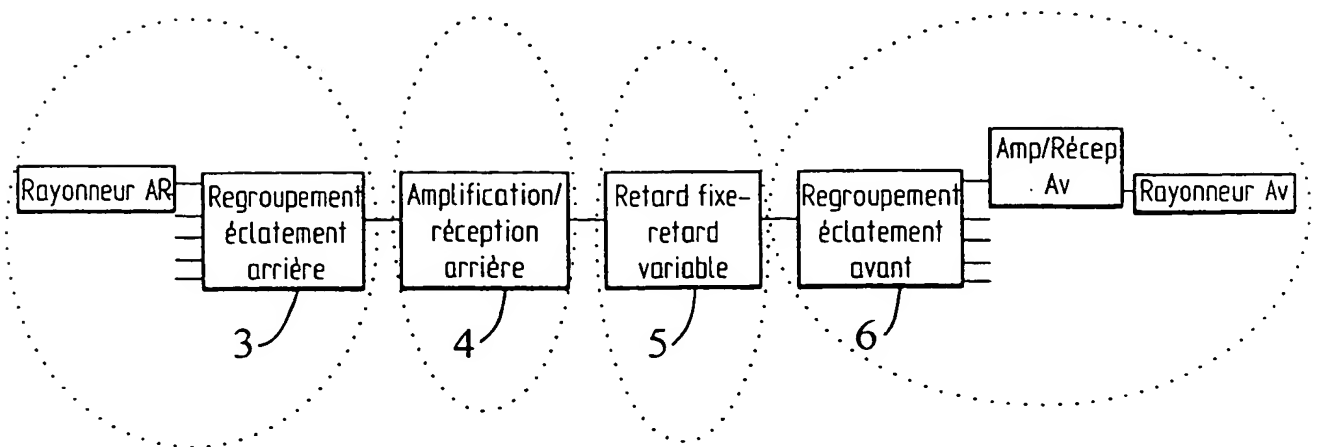


FIG.2

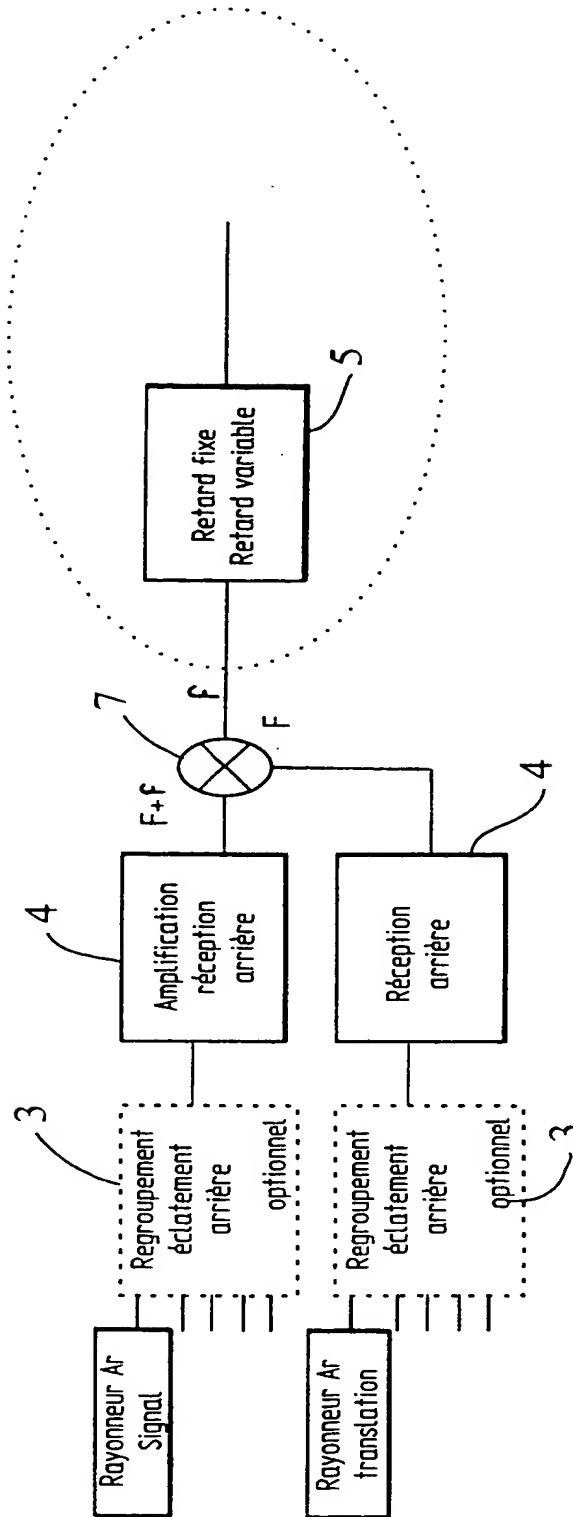


FIG. 3

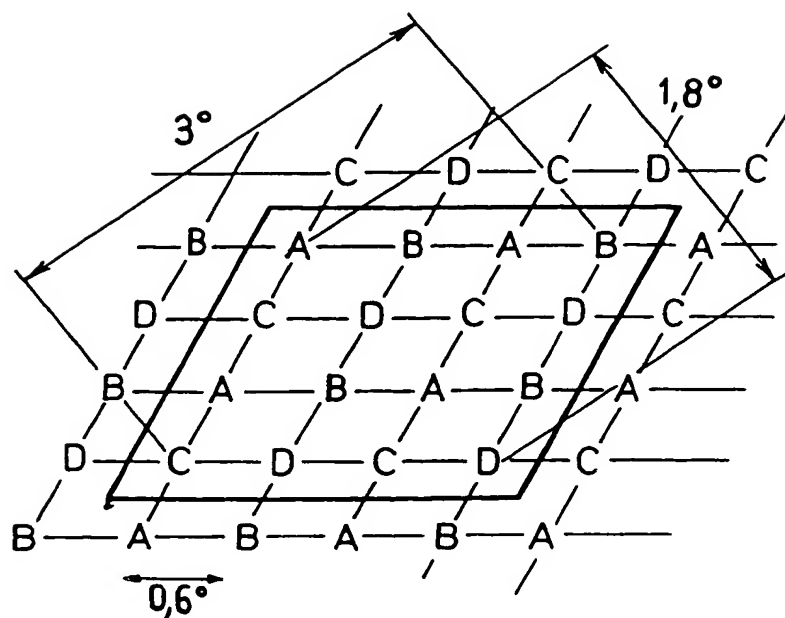


FIG. 4

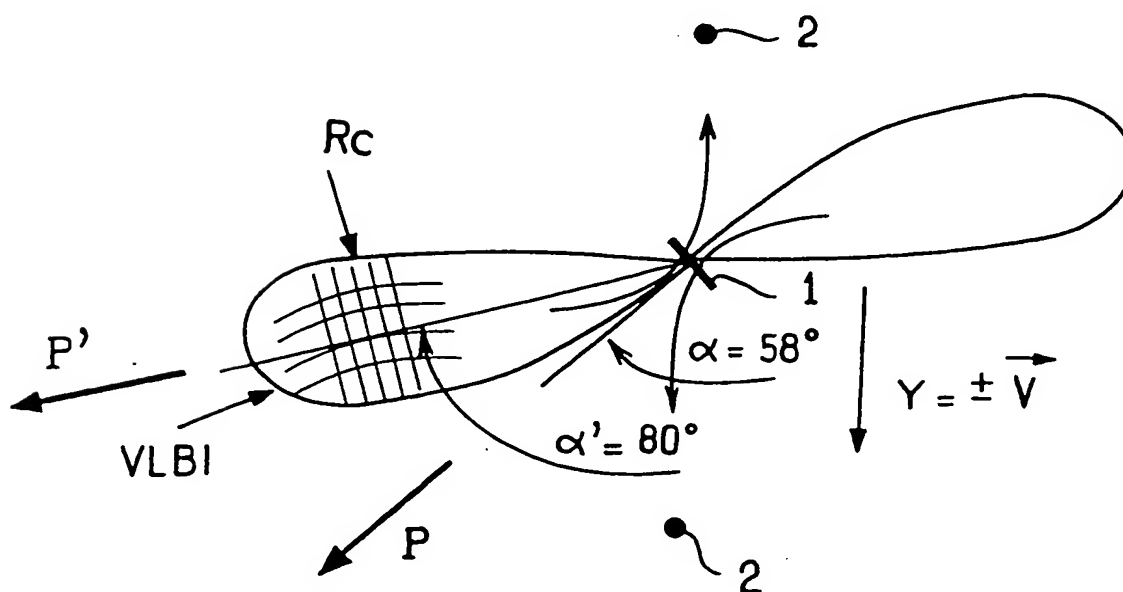


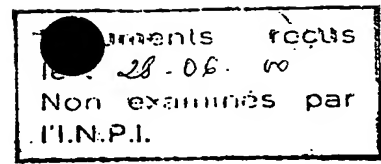
FIG. 5

REVENDEICATIONS

1. Système comportant une antenne radio-fréquence placée sur une orbite autour de la terre, ainsi que des moyens illuminateurs d'émission et/ou de réception également en orbite autour de la terre, l'antenne se trouvant dans le champ d'illumination desdits moyens, caractérisé en ce que l'antenne est une antenne radio-fréquence d'émission et/ou réception formée d'un maillage de pavés, cette antenne comportant des moyens de déphasage et/ou de retard reliés à ces pavés, les signaux reçus par les pavés transitant par les moyens de déphasage et/ou de retard avant d'être réémis sur lesdits pavés, ces moyens de déphasage et/ou de retard étant aptes à dévier les signaux radio-fréquence correspondant à un ou plusieurs canaux émis par les moyens illuminateurs pour les renvoyer vers la terre selon un ou plusieurs faisceaux et/ou à dévier les signaux radio-fréquence correspondant à un ou plusieurs faisceaux émis de la terre pour les renvoyer vers les moyens illuminateurs selon un ou plusieurs canaux.

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens illuminateurs sont portés par au moins un satellite distinct du satellite qui porte l'antenne et sensiblement sur la même orbite.

3. Système selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'antenne radiofréquence est sensiblement plane, les signaux transitant d'une face à l'autre de ladite antenne et en ce que, pour au moins un canal et un sens de trajet, il correspond, à une direction d'illumination selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne, un cône de visées dites d'autocompensation vers et depuis la terre définies par une incidence commune sur le plan de l'antenne, dite incidence d'autocompensation (l'incidence d'une direction étant l'angle que fait cette direction avec la normale au plan de l'antenne), les visées d'autocompensation étant telles que les déformées de l'antenne transversalement au plan général de l'antenne et les erreurs d'attitude de l'antenne autour de tout axe contenu dans ledit plan sont sensiblement sans effet sur ces mêmes signaux déviés vers ou depuis cette visée d'autocompensation et d'effet réduit dans les directions de visée voisines.



4. Système selon les revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque pavé comporte au moins une portion centrale, unique pour un canal donné et un sens de trajet, reliée par des moyens de regroupement et/ou éclatement d'une part en amont sur le trajet à au moins un point de
- 5 réception des signaux et d'autre part en aval à au moins un point d'émission des signaux et en ce que des moyens pour appliquer les déphasages et ou retard entre les points d'émission et de réception afin d'assurer la déviation sont appliqués sur la portion centrale pour ce qui concerne le retard et le déphasage commun et sur les branches pour ce qui concerne le retard et
- 10 ou déphasage différentiel.
5. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens permettant de faire varier les déphasages et/ou retards appliqués sur les différents trajets.
6. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'au moins
- 15 une partie des moyens de liaison entre le ou les points de réception et le ou les points d'émission est commune à différents canaux et en ce que des moyens permettant de discriminer ces différents canaux sont disposés au niveau d'au moins une jonction entre une portion de trajet commun et des portions de trajets spécifiques.
- 20 7. Système selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'antenne comporte des moyens pour translater la fréquence des signaux lors de leur déviation, pour au moins un canal et un trajet.
8. Système selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que pour au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent
- 25 la même fréquence avant et après l'antenne.
9. Système selon les revendications 3 et 8 prises en combinaison, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, l'incidence
- 30 d'autocompensation est égale à l'incidence de la direction d'illumination.
10. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que, pour au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence

distincte avant et après l'antenne et en ce que la fréquence de translation utilisée n'est pas issue de signaux reçus sur une des faces du pavé.

11. Système selon les revendications 3 et 10 en combinaison, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal
5 selon laquelle des moyens illuminateurs émettent et/ou reçoivent des signaux vers et depuis l'antenne et au moins un sens de trajet, le cosinus de l'incidence de la visée d'autocompensation et le cosinus de l'incidence de la direction d'illumination sont sensiblement dans le rapport des fréquences centrales du canal côté illumination et côté terre.

10 12. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que selon au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence distincte avant et après l'antenne et en ce que la fréquence de translation est issue d'un signal de translation dit externe reçu par une face du pavé.

15 13. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que selon au moins un canal et au moins un trajet, les signaux utilisent une fréquence distincte avant et après l'antenne et en ce que la translation de fréquence résulte ou est équivalente à deux translations consécutives, dont une qui est dite externe et dont la fréquence de translation, appelée F_e , est issue d'un signal de translation externe reçu par une face du pavé et dont l'autre
20 qui est dite interne et qui est de fréquence de translation F_i , est sans référence à un signal reçu par l'une ou l'autre des faces du pavé.

14. Système selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens illuminateurs comportent une pluralité de sous-ensembles illuminateurs et en ce que différents signaux d'un même canal émis vers la
25 pluralité des sous-ensembles illuminateurs ou issus de celle-ci se répartissent entre la terre et l'antenne selon une pluralité de faisceaux d'émission et/ou de réception dont la géométrie angulaire vue de l'antenne correspond sensiblement à la géométrie angulaire relative selon laquelle sont vus depuis l'antenne les différents sous-ensembles illuminant ce canal,
30 cette géométrie étant le cas échéant modifiée par une anisotropie.

15. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens illuminateurs comportent une pluralité de sous-ensembles illuminateurs et en ce que, pour un canal donné pour lequel l'antenne met

- en œuvre une translation de fréquence, les différents signaux émis vers la pluralité des sous-ensembles illuminateurs ou issus de celle-ci se répartissent selon une pluralité de faisceaux d'émission et/ou de réception vers la terre dont la géométrie angulaire vue de l'antenne correspond
- 5 sensiblement à la géométrie angulaire relative selon laquelle sont vus depuis l'antenne les différents sous-ensembles illuminant ce canal, après multiplication de tous les écarts angulaires par le rapport des fréquences centrales du canal côté illuminateur et côté terre, cette géométrie étant le cas échéant modifiée par une anisotropie.
- 10 16. Système selon les revendications 12 ou 13, éventuellement prises en combinaison avec la revendication 15, caractérisé en ce que le signal de translation externe utilisé selon au moins un canal est émis par les moyens illuminateurs et reçu par la face de l'antenne qui est du côté de l'illumination, et en ce que dans le cas où les moyens illuminateurs sont
- 15 répartis en sous-ensembles illuminateurs, émis par un sous-ensemble appelé foyer, éventuellement limité à cette fonction.
17. Système selon les revendications 3 et 16, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs émettent des signaux vers l'antenne tout en émettant
- 20 le signal de translation externe, le cosinus de l'incidence d'autocompensation et le cosinus de l'incidence de la direction d'illumination sont sensiblement dans le rapport $(f + F - F_e) / f$ où f est la fréquence côté terre, F_e est la valeur de la translation externe, et F est la totalité de la translation de fréquence, et en ce que dans le cas où les moyens
- 25 d'illumination sont répartis en sous-ensembles, l'écart d'incidence entre l'illumination considérée et le foyer est sensiblement reproduit dans l'écart entre les incidences d'autocompensation de l'illumination et celles qui correspondraient au foyer, moyennant les termes multiplicatifs $(f+F/f)$ et $(\sin(\phi_2)/\sin(\phi_1))$ où ϕ_1 est l'angle d'incidence d'illumination du foyer et ϕ_2
- 30 l'angle d'incidence d'autocompensation qui en résulterait si le foyer émettait.
18. Système selon la revendication 17, caractérisé en ce que F_e et F sont de même signe, c'est à dire portent sur des changements de fréquence de même sens.

19. Système selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce qu'un signal de translation externe utilisé selon au moins un canal à la réception est reçu par la face du pavé selon laquelle se fait la réception et est émis d'un point sol appelé foyer sol.

5 20. Système selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce qu'un signal de translation externe utilisé selon au moins un canal à la réception est reçu par la face du pavé selon laquelle se fait la réception et est émis par au moins un satellite sensiblement sur la même orbite que l'antenne et les moyens illuminateurs, ce satellite étant disposé par rapport
10 à l'antenne du côté opposé aux moyens illuminateurs, les moyens d'émission du signal étant appelés foyer opposé.

21. Système selon la revendication 3 prise en combinaison avec l'une des revendications 19 ou 20, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs
15 reçoivent des signaux, l'angle de l'incidence d'autocompensation est sensiblement égal à $\phi_2 + (\cos(\phi_2) (f+Fe) - \cos(\phi_1) (F+f)) / \sin(\phi_2) f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et celui du signal de translation externe, f la fréquence côté terre, Fe est la valeur de la translation externe, et F est la totalité de la translation de fréquence,.

20 22. Système selon la revendication 21, caractérisé en ce que Fe et F sont de même signe, c'est à dire portent sur des changements de fréquence de même sens.

23. Système selon les revendications 12, 18, 19 et 22 prises en combinaison, caractérisé en ce que pour au moins un canal utilisé à
25 l'émission et à la réception, la fréquence Fe est égale à la fréquence F pour les deux trajets et au moins un foyer sol est au voisinage d'une visée d'autocompensation d'émission correspondant à ces moyens illuminateurs.

24. Système selon les revendications 18 et 22 prises en combinaison avec l'un des revendications 19 ou 20, caractérisé en ce que pour au moins
30 un canal utilisé à l'émission et à la réception, l'attitude de l'antenne, ainsi que les fréquences Fi et Fe à la fois à l'émission et à la réception, sont telles que les visées d'autocompensation sont identiques sur les deux

trajets en dépit du non-alignement du foyer opposé avec les moyens illuminateurs utilisés en réception, ou en dépit de l'éloignement entre le foyer sol et le centre de la zone à couvrir.

25. Système selon les revendications 3 et 16 en combinaison, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, la translation de fréquence F_e se fait à partir du signal externe reçu par la face d'illumination et l'incidence d'autocompensation est telle que $\cos(\phi_2)/\cos(\phi_1) = (f + F_e + F)/f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et l'angle de l'incidence d'autocompensation, f étant la fréquence côté terre, F_e la valeur de la translation externe, F la totalité de la translation de fréquence.

26. Système selon la revendication 25, caractérisé en ce que F_e et F sont de signes contraires, c'est à dire que la translation externe F_e est de sens opposé à la translation totale F .

27. Système selon la revendication 26, caractérisé en ce que pour au moins un canal utilisé à la réception $|F_e| = |F|$ et $F_i = 2|F|$.

28. Système selon les revendications 18 et 26 en combinaison, caractérisé en ce que, pour au moins un canal utilisé à l'émission et à la réception, $|F_e| = |F|$ et $F_i = 2|F|$ pour la réception et $F_e = F$ pour l'émission et en ce que les visées d'autocompensation sont sensiblement identiques sur les deux trajets.

29. Système selon les revendications 3 et 16 prises en combinaison, caractérisé en ce que pour une direction d'illumination d'au moins un canal, selon laquelle des moyens illuminateurs reçoivent des signaux, la translation F_e se fait à partir du signal externe reçu par la face d'illumination et est de même sens que la translation totale F , en ce que $F = F_e$ et en ce que l'incidence d'autocompensation est donnée par $\phi_2 - \phi_1 = -2 \cot(\phi_1) F/f$ où ϕ_1 et ϕ_2 sont l'angle d'incidence de la direction d'illumination et l'angle de l'incidence d'autocompensation f étant la fréquence côté terre, F_e la valeur de la translation, F la totalité de la translation de fréquence.

30. Système selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'attitude de l'antenne est telle que l'écart angulaire entre l'ensemble des visées possibles et les visées d'auto-compensation soit globalement minimisé.

5 31. Système selon la revendication 3 prise en combinaison avec l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que l'attitude et la ou les fréquences de translation F_e ou F_i sont telles que l'écart angulaire entre l'ensemble des visées possibles et les visées d'auto-compensation soit globalement minimisé.

10 32. Système selon les revendications 3 prise en combinaison avec l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que l'attitude et la ou les fréquences de translation F_e ou F_i sont telles que les résidus d'autocompensation soient répartis sur les deux trajets.

15 33. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'antenne comporte des moyens pour mettre en œuvre des translations de fréquences différentes sur les signaux radio-fréquence émis ou reçus selon des canaux distincts.

20 34. Système selon les revendications 2 et 5 prises en combinaison, caractérisé en ce que les moyens de déphasage et/ou retard sont commandés de façon à maintenir inchangé l'orientation dans le repère lié à l'antenne d'un faisceau correspondant à un canal en dépit des modifications de l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction d'illumination utilisée par le faisceau.

25 35. Système selon la revendication 34 prise en combinaison avec l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que les moyens de déphasage et/ou retard sont commandés de façon à maintenir inchangée l'orientation dans le repère lié à l'antenne d'une direction de faisceau éventuellement virtuel correspondant à une direction d'illumination éventuellement virtuelle repérée par rapport aux directions d'illumination d'un canal.

30 36. Système selon la revendication 35 prise en combinaison avec la revendication 4, caractérisé en ce que la direction du faisceau, éventuellement virtuel, sur lequel porte la compensation est choisie de manière à minimiser l'écart angulaire maximal entre ce faisceau et le

faisceau ou l'ensemble des faisceaux du canal et en ce que le pas, compté à la longueur d'onde de la fréquence centrale du canal côté terre, entre les points centraux utilisés par le canal est établi en fonction de cet écart angulaire maximal et du niveau tolérable des lobes de sous-réseaux
5 accompagnant le ou les faisceaux du canal.

37. Système selon la revendication 34, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour commander les moyens de déphasage et/ou de retard de façon à maintenir inchangée la direction dans le repère terrestre d'au moins un faisceau d'au moins un canal en dépit des modifications
10 d'attitude de l'antenne et des modifications qui en résultent concernant l'orientation dans le repère lié à l'antenne des directions d'illuminations.

38. Système selon la revendication 34, caractérisé en ce que le satellite qui porte l'antenne et au moins un satellite portant des moyens d'illumination comportent des moyens pour déterminer l'orientation dans le
15 repère lié à l'antenne de la direction d'illumination.

39. Système selon la revendication 34, caractérisé en ce que le satellite qui porte l'antenne et au moins un satellite portant des moyens d'illumination comportent des moyens pour déterminer l'orientation dans le repère terrestre de l'axe les joignant.

20 40. Système selon les revendications 38 et 39 prises en combinaison, caractérisé en ce que l'orientation de la direction d'illumination dans le repère lié à l'antenne est déterminé à partir de la connaissance de l'attitude de l'antenne et de l'orientation dans le repère terrestre de l'axe les joignant.

25 41. Système selon la revendication 38, caractérisé en ce que l'antenne comporte des moyens pour comparer les phases et/ou retards d'au moins un signal émis par les moyens illuminateurs et reçu en différents points de l'antenne et des moyens pour déterminer en fonction de cette comparaison l'orientation dans le repère lié à l'antenne de la direction
30 d'arrivée du ou des signaux.

42. Système selon les revendications 39 et 41 prises en combinaison, caractérisé en ce que l'attitude en lacet et/ou tangage de l'antenne est déterminée à partir de la connaissance de l'orientation dans le

repère lié à l'antenne de la direction d'arrivée du ou des signaux et de l'orientation dans le repère terrestre de cette direction d'arrivée.

43. Système selon la revendication 39, caractérisé en ce qu'un satellite qui porte des moyens illuminateurs comporte des moyens pour se localiser ou des moyens de réception de signaux de radiolocalisation, ainsi que des moyens pour transmettre les informations de localisation ou les signaux de radiolocalisation qu'elle reçoit au satellite qui porte l'antenne, ce dernier comportant des moyens pour déterminer en fonction notamment de ces informations l'orientation dans le repère terrestre de l'axe joignant les deux satellites.

44. Système selon les revendications 35 et 41 prises en combinaison, caractérisé en ce que la direction d'illumination virtuelle repérée est celle d'un sous-ensemble illuminateur qui émet le signal de mesure, et en ce que la mesure donne directement l'information nécessaire à la compensation.

45. Système selon la revendication 15, caractérisé en ce que des sous-ensembles illuminateurs sont sur un même satellite.

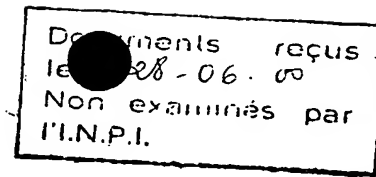
46. Système selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que des sous-ensembles illuminateurs sont décalés les uns par rapport aux autres sur une orbite commune.

47. Système selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que des orbites de sous-ensembles illuminateurs présentent des écarts d'ellipticité et/ou de plan d'orbite.

48. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que sur un retard de portion centrale transite ensemble au moins un canal et la raie de translation, ou une référence qui permet de la créer, utilisée pour baisser la fréquence du ou des canaux en aval du retard, de façon à limiter les impacts des imperfections du retard sur la phase du signal dévié.

49. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'une translation descendante est réalisée sur un canal ou plusieurs canaux en amont du retard de portion centrale.

50. Système selon la revendication 49, caractérisé en ce qu'une telle translation descendante est suivie d'une translation montante après le



retard utilisant une référence n'ayant pas subi ce retard, de façon à limiter les impacts des imperfections du retard sur la phase du signal dévié.

51. Système selon la revendication 6, caractérisé en ce que le retard sur la portion centrale est commun à au moins deux canaux sur au moins un sens de trajet.

52. Système selon les revendications 6 et 7, caractérisé en ce que la translation de fréquence est réalisée, sur au moins un canal et un trajet, dans la portion centrale.

53. Système selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce que, dans une application à la transmission de télécommunications, il comporte une pluralité de canaux, ainsi qu'une pluralité de sous-ensembles illuminateurs, la mosaïque des faisceaux au sol étant constituée par le motif fin généré par l'antenne du fait de la géométrie angulaire selon laquelle les sous-ensembles illuminateurs sont vus par celle-ci, répété selon un motif large qui est généré par l'antenne du fait des différents canaux.

54. Système selon les revendications 53 et 47, caractérisé en ce que les sous-ensembles illuminateurs illuminant un même canal sont vus de l'antenne suivant une géométrie angulaire relative stable à l'exception d'une rotation sur elle-même à la période orbitale et en ce que la pluralité de directions assurée par le motif large du canal précessionne grâce aux moyens de déphasage et/ou retard autour d'une direction centrale et ce en phase avec la rotation du motif fin de façon à ce que la mosaïque d'ensemble des faisceaux garde une structure stable, mise à part une rotation sur elle-même à l'échelle orbitale.

55. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'orbite des satellites est une orbite basse et en ce que l'antenne s'étend sensiblement dans un plan qui passe par le centre de la terre, en ce qu'un décalage du plan par rapport au plan d'orbite permet l'illumination sur une face, en ce que sur l'autre face au moins un des faisceaux est dépointé pour voir la terre.

56. Système selon la revendications 55 prise en combinaison avec la revendication 46, caractérisé en ce que les déphasages et les retards sont tels que le décalage des sous-ensembles illuminateurs se traduit par des

faisceaux à empreintes au sol décalées transversalement par rapport à la trace.

57. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'au moins deux satellites antenne utilisent des moyens illuminateurs communs.

5 58. Système selon la revendication 57, caractérisé en ce qu'au moins deux satellites antennes sont situés d'un même côté, le long de l'orbite, des moyens illuminateurs, et en ce qu'ils sont décalés sur la même orbite ou sont décalés en ellipticité et/ou plan d'orbite.

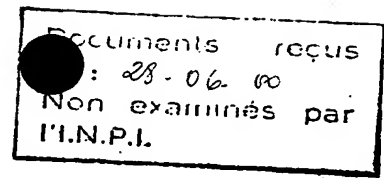
10 59. Système selon la revendication 57, caractérisé en ce qu'au moins deux satellites antennes sont de part et d'autre des moyens illuminateurs.

60. Système selon l'une des revendications 57 à 59, caractérisé en ce qu'un satellite antenne porte des moyens illuminateurs destinés à un autre satellite antenne.

15 61. Système selon la revendication 60, caractérisé en ce qu'un satellite prisme porte des moyens illuminateurs destinés à un autre satellite prisme et est illuminé par des moyens illuminateurs portés par un satellite prisme.

20 62. Système selon les revendications 2 et 3, caractérisé en ce que l'axe normal à l'antenne est sensiblement dans le plan de l'orbite, le tangage étant tel que le cône de visée d'auto-compensation rencontre la terre selon une ligne d'auto-compensation s'étirant globalement transversalement à l'orbite et en ce que le déplacement au sol, sensiblement le long de la projection de l'orbite, de la ligne d'auto-compensation est réalisé par le déplacement du satellite et/ou par le
25 changement du tangage de l'axe d'antenne et/ou le changement de la fréquence de translation dans le cas où celle-ci est assurée au moins par un signal interne, ces trois moyens pouvant être utilisés séparément ou en combinaison.

30 63. Système selon la revendication 62, caractérisé en ce que les visées sol sont réparties en fauchée le long de la ligne d'auto-compensation de sorte que les contraintes de déformation de l'antenne sont très relâchées et en ce qu'une corrélation entre les deux voies d'arrivée des signaux réalise une discrimination de visée des sources de ces signaux fonction de



l'angle que la direction d'arrivée des signaux fait avec l'axe antenne/moyens illuminateurs.

64. Système selon la revendication 2, caractérisé en ce que des moyens illuminateurs reçoivent directement de la terre des signaux également reçus via l'antenne et en ce qu'une corrélation entre les deux signaux réalise une discrimination de visée fonction de l'angle que la direction d'arrivée des signaux fait avec l'axe antenne/moyens illuminateurs.

65. Système selon la revendication 64, caractérisé en ce que le déplacement au sol, sensiblement le long de la projection de l'orbite, de la zone de visée discriminée par la corrélation est réalisée par le déplacement du satellite et/ou par le changement de l'angle de discrimination.

66. Système selon la revendication 65, caractérisé en ce que l'antenne présente dans une direction une dimension plus importante que dans les autres directions, ce qui assure pour au moins un faisceau l'étroitesse de l'empreinte au sol dans une direction transversale à l'orbite.

67. Système selon les revendications 65 et 66 prises en combinaison, caractérisé en ce qu'une imagerie du sol selon deux composantes croisées est obtenue en combinant la corrélation et un balayage du faisceau.

68. Système selon les revendications 63 et 67 prises en combinaison, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour réaliser les visées au sol à partir d'un balayage électronique d'un faisceau selon une commande mono-dimensionnelle et en ce que la grande dimension de l'empreinte du faisceau, qui résulte de la petite dimension de l'antenne, est le long de l'orbite et permet de recouvrir la ligne d'auto-compensation pour toutes position du faisceau, en dépit de la courbure de cette ligne et du caractère mono-dimensionnel de la commande de balayage.

69. Système selon la revendication 68, caractérisé en ce que l'antenne est allongée le long de l'axe tangage.

70. Système selon les revendications 67 et 55 prises en combinaison, caractérisé en ce que l'antenne est allongée le long de l'axe lacet.

THIS PAGE BLANK (USPTO)